



Universidad
Católica de
Valencia
San Vicente Mártir

TFG

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN
VETERINARIA**

Valor predictivo de diferentes métodos de valoración de la condición corporal y su relación con el estado reproductivo en novillas de raza Holstein Friesian

Alumna: Benedetta Gnemmi

Tutores: Dr. Giovanni Maria Gnemmi, Dr. Juan Carlos Gardón Poggi

Curso académico 2020-2021



Facultad de Veterinaria
y Ciencias Experimentales
Universidad Católica de Valencia
San Vicente Mártir

En primer lugar, quiero dar mi más profundo agradecimiento a mis tutores, Juan Carlos y Giovanni, por toda la ayuda y el soporte que me han dado para la realización del trabajo.

Quiero agradecer la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele s.s. por haberme permitido trabajar con sus animales. Un gracias especial va al Señor Daniele Bellini, a Davide Bellini y a Francesca Pinetti por la ayuda que me han ofrecido para la toma de los datos.

Quiero darle un agradecimiento particular a la Doctora Arantxa Echegaray por el tiempo que me ha dedicado y por su ayuda a decir poco fundamental para la realización del análisis estadístico. También quiero agradecerle al Doctor Roberto Varano y la Doctora Cecilia Riva por su disponibilidad.

A los profesores que he tenido a lo largo de la carrera, por sus enseñanzas y consejos.

Quiero agradecer y dedicar este trabajo a mi familia. A mi padre, por haberme transmitido la pasión, la perseverancia y la fuerza necesarias para esta profesión, a mi madre por haber sido mi pilar durante toda mi vida y a mi hermana por haber estado siempre a mi lado.

A mis amigas de la residencia gracias a las cuales Valencia se ha convertido en mi casa desde el primer día.

A la familia que me ha dado la carrera, por haber estado a mi lado todos estos años. Un gracias especial a Merche, Andrés y Leo por recordarme de confiar más en mí misma y por estar siempre. Gracias por haberme hecho reír cuando lo necesitaba y por todos los maravillosos momentos que hemos coleccionados en estos años.

A mis amigas de Italia, que han estado a mi lado, aunque hubiera muchos kilómetros de por medio.

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	3
1. Introducción y Revisión bibliográfica	5
1.1. Definiciones de BCS.....	7
1.2. Valoración del BCS.....	8
1.2.1. Métodos visuales	8
1.2.2. Evaluación de la condición corporal mediante ultrasonografía.....	12
1.3. Bases fisiológicas de la reproducción	18
1.3.1. Pubertad en la hembra de raza Holstein Friesian	18
1.3.2. Descripción del ciclo estral en bovinos de raza Holstein Friesian	22
1.4. Valoración estado reproductivo	26
1.4.1. Ecografía ovárica en Holstein Friesian	26
2. Objetivos	27
3. Material y Métodos	29
3.1. Localización del establecimiento.....	29
3.2. Características de alojamiento y manejo nutricional	31
3.3. Selección de los animales incluidos en el estudio	32
3.4. Herramientas de diagnóstico	32
3.4.1. Valoración del BCS	33
3.4.2. Cuantificación de los niveles de progesterona en plasma	33
3.4.3. Valoración ecográfica del estado reproductivo	35
3.4.4. Ecografía de la grasa subcutánea a nivel del músculo <i>gluteus medius</i>	36
3.4.5. Ecografía de la grasa de cobertura en P8.....	38
3.5. Evaluación de los resultados	40
4. Resultados.....	43
4.1. Resultados pruebas diagnósticas	43

4.2.	Asociación entre las variables estudiadas	51
5.	Discusión	57
6.	Conclusiones	63
7.	Bibliografía	65
8.	Anexos.....	¡Error! Marcador no definido.
8.1.	Anexo I: Esquema técnica del corrector administrado a las novillas del presente estudio.....	¡Error! Marcador no definido.
8.2.	Anexo II: Manejo sanitario Sociedad Agrícola Bellini Alessandro e Daniele s.s. ...	¡Error! Marcador no definido.
8.3.	Anexo III: Hoja de trabajo usada para apuntar la valoración del BCS de las novillas del presente estudio.	¡Error! Marcador no definido.
8.4.	Anexo IV: Historial reproductivo de las novillas objeto de estudio.	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Condición corporal en vacas Holstein Friesian valorada visualmente con la escala de puntuación 1-5 según su estado productivo.	7
Tabla 2: Relación entre los diferentes métodos de puntuación del BCS.	10
Tabla 3: Resultados las pruebas diagnósticas de los animales incluidos en el estudio.	43
Tabla 4: Niveles de P4 en novillas y su relación con la pubertad.....	44
Tabla 5: Determinación de cuerpos lúteos en novillas mediante ultrasonografía.	45
Tabla 6: Niveles de progesterona plasmática, presencia y tamaños cuerpos lúteos en novillas.	46
Tabla 7: Determinación ultrasonográfica de estructuras foliculares en ambos ovarios.....	47
Tabla 8: Clasificación del BCS en novillas valorado mediante la escala de puntuación irlandesa 1-5 (Wildman et al., 1982).	49
Tabla 9: Relación entre el BCS evaluado visualmente y la pubertad evaluada mediante niveles de P4 en novillas.	50
Tabla 10: Correlación entre pubertad y presencia/ausencia de cuerpos lúteos.	52
Tabla 11: Correlación entre presencia/ausencia de cuerpos lúteos y la condición corporal evaluada visualmente mediante la escala irlandesa 1-5 (BCS).	52
Tabla 12: Correlación entre la evaluación de la condición corporal estimada visualmente mediante la escala irlandesa 1-5 (BCS) y el tamaño de los cuerpos lúteos (TCL).	53
Tabla 13: Correlación entre la pubertad y el BCS evaluado visualmente mediante la escala irlandesa 1-5.	53
Tabla 14: Correlación entre la condición corporal evaluada visualmente mediante la escala irlandesa 1-5 (BCS) y el espesor de la grasa subcutánea en P8, y encima del músculo <i>gluteus medius</i> (GM)	54
Tabla 15: Correlación entre el espesor de la grasa subcutánea en P8 y encima del músculo <i>gluteus medius</i> (GM) y los niveles de P4 plasmática, la pubertad y el tamaño de los cuerpos lúteos (TCL).	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Regiones anatómicas para la valoración visual de la condición corporal según la escala 1-5 de Edmonson et al. (1989).....	9
Figura 2: Diferentes valoraciones de la condición corporal en vacas de raza Holstein Friesian según la escala 1-5.....	12
Figura 3: Descripción de las diferentes localizaciones para la medición del espesor de la grasa subcutánea en vacas de leche según Raschka et al. (2016).....	14
Figura 4: Localización para la medición ecográfica del espesor de la grasa subcutánea en la zona de la cadera por encima del músculo <i>gluteus medius</i>	15
Figura 5: Descripción de una imagen ecográfica ampliada realizada por encima del músculo <i>gluteus medius</i>	16
Figura 6: Localización para la medición ecográfica del espesor de la grasa subcutánea en P8..	17
Figura 7: Descripción de una imagen ecográfica ampliada realizada en P8.	17
Figura 8: Acontecimientos endocrinológicos por los cuales se alcanza la pubertad en novillas <i>Bos taurus</i>	20
Figura 9: Ciclo estral en bovinas <i>Bos taurus</i> con dos ondas foliculares (A) y con tres ondas foliculares (B).	25
Figura 10: Imagen satelital de la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele s.s.	29
Figura 11: Mapa del norte de Italia donde se indica la localidad en la cual se encuentra la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele s.s.	30
Figura 12: Distribución de los animales según el número de partos dentro del rebaño de la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele s.s.	30
Figura 13: Imágenes de la nave destinada a las novillas de la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele s.s.	31
Figura 14: Recolección de sangre desde la vena coccígea para la determinación de los niveles de progesterona plasmática.	34
Figura 15: Muestra de suero en un Eppendorf de 1,5 mL (Eppendorf™, German).	35
Figura 16: Ecógrafo veterinario portátil ExaGo® (IMV Imaging, Francia) y sonda endocavitaria linear de 11 cm y 7,5 MHz (IMV Imaging, Francia).	35

Figura 17: Ecografías ovario derecho e izquierdo de unas de las novillas incluidas en el estudio.	36
Figura 18: Posicionamiento de la sonda para la realización de la medición de la grasa subcutánea encima del músculo <i>gluteus medius</i> .	37
Figura 19: Imagen ecográfica ampliada de la medición de la grasa subcutánea por encima del músculo <i>gluteus medius</i> .	37
Figura 20: Sonda lineal de 17 cm y 3,5 MHz (IMV Imaging, Francia).	38
Figura 21: Posicionamiento de la sonda para la realización de la medición de la grasa subcutánea en P8.	39
Figura 22: Imagen ecográfica ampliada de la medición de la grasa subcutánea en P8.	39
Figura 23: Distribución de los animales objeto de estudio en función de la concentración plasmática de P4.	44
Figura 24: Distribución de los animales objeto de estudio en función del tamaño de los cuerpos lúteos presentes en los ovarios.	47
Figura 25: Distribución de los animales objeto de estudio en función de los tamaños de los folículos.	48
Figura 26: Distribución de los animales en función de la condición corporal estimada mediante el uso de la escala de evaluación irlandesa 1-5 (Wildman et al., 1982).	49
Figura 27: Distribución de los animales objeto de estudio en función del espesor de la grasa subcutánea en P8.	50
Figura 28: Distribución de los animales objeto de estudio en función de la grasa subcutánea encima del músculo <i>gluteus medius</i> .	51
Figura 29: Resultados obtenidos en la valoración de la condición corporal estimada visualmente mediante la escala irlandesa 1-5 (BCS), mediante la medición del espesor de la grasa subcutánea en P8 y encima del músculo <i>gluteus medius</i> .	54

GLOSARIO DE ABREVIADURAS

- **BCS:** Body Condition Score o Clasificación de la Condición Corporal
- **BF:** Músculo *biceps femoris* o Músculo bíceps femoral
- **BFT:** Backfat Tickness o Espesor del graso de cobertura dorsal
- **E2:** Estradiol-17 β
- **FSH:** Hormona foliculoestimulante
- **GM:** Músculo *gluteus medius* o Músculo glúteo medio
- **GnRH:** Hormona liberadora de gonadotropina
- **LH:** Hormona luteinizante
- **Ob-R:** Receptores de la Leptina
- **P4:** Progesterona
- **PGF2 α :** Prostaglandina F2 α
- **RIA:** Radioinmunoensayo
- **s.s.:** Sociedad Simple
- **US:** Ultrasonido/s



Resumen

La recría en una explotación lechera representa el futuro económico de la empresa, y por ello, es fundamental cuidar cada aspecto de la vida de estos animales desde sus fases más tempranas. Entre los muchos aspectos cruciales que encontramos a lo largo de la vida de estos animales está la pubertad.

El objetivo de este trabajo fue determinar si las 21 novillas de raza Holstein Friesian estudiadas habían alcanzado la pubertad midiendo los niveles de progesterona plasmática y realizando una valoración ecográfica de sus ovarios. A partir de estos resultados se quiso estudiar el valor predictivo de diferentes métodos de estimación de la condición corporal (BCS) con respecto a la pubertad en estos animales.

Los métodos usados para cuantificar la condición corporal fueron: la estimación visual mediante una escala de puntuación irlandesa 1-5, la medición ecográfica del espesor de la grasa subcutánea en P8 y por encima del músculo *gluteus medius*.

A partir del análisis de los resultados, fue posible concluir que la estimación visual de la condición corporal tiene valor predictivo en cuanto al estado reproductivo en novillas de raza Holstein Friesian. Por lo contrario, no se ha detectado correlación significativa entre las mediciones ecográficas del espesor de la grasa subcutánea y la pubertad en estos animales. Tampoco se ha demostrado la existencia de una correlación entre las distintas técnicas usadas para la determinación de la condición corporal.

Palabras claves: Pubertad, BCS, P8, Músculo *gluteus medius*, Novilla, Raza Holstein Friesian.





Abstract

The heifers on a dairy farm represent the economic future of this company, and therefore it is essential to take care of every aspect of the animals' lives from the earliest stages. Among the many crucial aspects that we find throughout the life of these animals there is puberty.

The aim of this work was to determine whether the 21 Holstein Friesian heifers studied had reached puberty by measuring plasma progesterone levels and performing an ultrasound of their ovaries. Based on these results we wanted to study the predictive value of different methods of assessing body condition (BCS) with respect to puberty in these animals.

The methods used to quantify body condition were: visual estimation using an Irish scoring scale 1-5, ultrasound measurement of subcutaneous fat thickness at P8 and above the muscle *gluteus medius*.

From the analysis of the results, it was possible to conclude that the visual estimation of body condition has predictive value ($p = 0.070$) for reproductive status in Holstein Friesian heifers. On the contrary, no significant correlation has been detected between ultrasound measurements of subcutaneous fat thickness and puberty in these animals. Neither it was possible to demonstrate the existence of a correlation between the different techniques used for body condition determination.

Key words: Puberty, BCS, P8, Muscle *gluteus medius*, Heifer, Holstein Friesian breed





1. Introducción y Revisión bibliográfica

La reposición en una explotación de vacuno lechero, hoy en día, representa aproximadamente el 15-20% de los gastos totales de la empresa (Gabler, Tozer y Heinrichs, 2000; Hutchison, VanRaden, Null, Cole, y Bickhart, 2017).

Los factores que mayor impacto tienen en la determinación de este coste son, la tasa de eliminación de las novillas y la edad de la primera inseminación. Asimismo, resulta evidente que el momento de la primera inseminación representa uno de los factores determinantes en la rentabilidad de una explotación lechera (Tozer y Heinrichs, 2001; Ettema y Santos, 2004).

Entre los objetivos recomendados para las novillas de raza Holstein Friesian encontramos que estos animales alcancen el 50-55% de su peso adulto (360-410 kg, definiendo como vaca adulta una hembra de tercer-cuarto parto a los 100-150 días de lactación) a los 11-12 meses de edad (momento previsto para la primera inseminación) (Archbold, Shalloo, Kennedy, Pierce y Buckley 2012; Ettema y Santos, 2004; Mohd Nor, Steeneveld, Van Werven, Mourits y Hogeveen, 2013; Gold Standards Overview, 2019).

Otro factor que tiene mucha importancia con el fin de aumentar el potencial productivo y la tasa de preñez de las futuras vacas es la edad a la cual las novillas alcanzan la pubertad. Muchos estudios se han empeñado en demostrar la correlación existente entre el peso corporal de las novillas al momento de la primera inseminación y los resultados productivos de estas (Macdonald et al., 2007). Sin embargo, el peso corporal y la altura no permiten realizar una buena evaluación del estado energético (energías metabolizables disponibles) de estos animales. Es posible encontrar individuos altos y muy delgados con un peso parecido al de otros animales más pequeños y con un mayor depósito de tejido adiposo. En este caso, estos dos tipos de animales pueden tener el mismo peso vivo pero sus condiciones corporales y estados energéticos serán diferentes (Roche, Dillon, Stockdale, Baumgard y VanBaale, 2004; Gold Standards Overview, 2019).

El Body Condition Score (BCS) es una expresión clínica del balance energético de los animales (Ferguson, Galligan y Thomsen, 1994; Toshniwal, Dechow, Cassell, Appuhamy y Varga, 2008). El BCS es un indicador del equilibrio existente entre la ingesta y el gasto energético de los animales a lo largo de su vida productiva (Toshniwal et al., 2008; Klopčič et al., 2011).

El estado metabólico y con ello la condición corporal de las vacas, influyen tanto en los resultados productivos como reproductivos, en el estado de salud (la probabilidad de que no desarrollen enfermedades) y por ello en la longevidad de los animales (Lopez, 2006; Handcock et al., 2020; Han, Heinrichs, De Vries, y Dechow, 2021).



La estimación de las reservas energéticas en la producción lechera es muy importante ya que nos permite valorar si se está llevando a cabo una correcta gestión del plan nutricional de los animales (Heinrichs, Jones y Ishler, 2016).

El BCS, como se ha dicho anteriormente, también tiene mucha relevancia en los animales más jóvenes, las novillas. En estas últimas, la valoración del BCS tiene mucho interés desde el punto de vista del manejo reproductivo ya que representa un buen indicador del estado de madurez sexual de los animales (Wildman et al., 1982; Heinrichs et al., 2016; Heinrichs, Zanton, Lascano, y Jones, 2017). La eficiencia de la relación entre BCS e índices reproductivos depende del método usado para su evaluación.

La condición corporal puede valorarse de forma visual a través de la aplicación de diferentes escalas de evaluación. Por cada escala se establece como debe llevarse a cabo la técnica es decir que puntos anatómicos tomar como referencia y que valor total atribuirle al sujeto estudiado según su condición corporal general. Entre las escalas de evaluación más conocidas encontramos la australiana, la neozelandesa, la americana y la irlandesa (Edmonson, Lean, Weaver, Farver y Webster, 1989; Roche et al., 2004).

Aunque estos métodos sean muy útiles y ampliamente difundidos, no llegan a ser perfectos ya que no es posible establecer una relación objetiva entre la condición corporal evaluada visualmente y la grasa corporal total de los animales. Asimismo, cabe el riesgo de que esta evaluación no represente el balance energético real de los animales (Ferguson et al., 1994; Joshi y Herdt, 2011).

En los últimos años se han desarrollado otros métodos de evaluación del estado energético. Diferentes autores han demostrado que existe una relación positiva entre el espesor de la grasa subcutánea y la grasa total de los animales.

La grasa total es una expresión del balance energético (Wildman et al., 1982; Schröder y Staufenbiel, 2006). Con el fin de determinar la condición corporal, diversos autores recomiendan realizar una medición ecográfica del espesor de la grasa subcutánea en diferentes puntos sobre el animal. La región de la cadera resulta ser la región anatómica en la cual se deposita la mayor cantidad de tejido adiposo de los bovinos. Por ello esta zona es la más adecuada para estimar el espesor de la grasa subcutánea (Domecq, Skidmore, Lloyd y Kaneen, 1995). Como ejemplos podemos destacar las mediciones en el P8 y la medición del espesor de la grasa de cobertura encima del músculo *gluteus medius* (GM). El P8 es el punto en el cual el músculo *biceps femoris* (BF) y el músculo *gluteus medius* se encuentran en el plano vertical de la imagen ecográfica (Realini, Williams R. E., Pringle y Bertrand, 2001; Schröder y Staufenbiel, 2006; Joshi y Herdt, 2011).



1.1. Definiciones de BCS

El Body Condition Score (BCS) en las vacas Holstein Friesian es una estimación de las reservas grasas de los animales (Macdonald y Roche, 2004). Esta técnica se basa en la evaluación de distintos rasgos del animal con el fin de estimar sus reservas corporales (grasas de reserva) ya que están directamente relacionadas con el balance energético de los individuos (Schröder y Staufenbiel, 2006).

El BCS es una valoración indirecta de la cantidad de energía metabolizable que el animal posee almacenada en forma de grasa y masa muscular. De esta manera, el BCS ofrece una estimación del balance energético en el que se encuentra cada sujeto (Edmonson et al., 1989; Ferguson et al., 1994; Roche et al., 2009; Klopčič, Hamoen y Bewley, 2011; Paul, Mondal, Kumar y Kumari, 2020).

El peso corporal y la altura, por sí solos, no permiten llevar a cabo una buena evaluación del estado de las reservas corporales de los animales. El BCS proporciona una buena estimación del balance energético, minimizando la influencia de la talla de los animales (Roche et al., 2004). Se han desarrollado diferentes métodos para llevar a cabo una adecuada valoración del estado energético de los animales de una explotación, tanto adultos como jóvenes, y de esta manera asegurar que siempre estén en un estado metabólico óptimo (Paul et al., 2020). Entre ellos, la estimación visual del BCS, gracias a la contribución de diferentes autores, también ha permitido establecer algunos “Gold standards” en cuanto a la condición corporal ideal de las novillas y de las vacas de raza Holstein Friesian a lo largo de su vida productiva (Tabla 1) (Elanco Rumensin®, 2004; Kellogg, 2010).

Tabla 1: Condición corporal en vacas Holstein Friesian valorada visualmente con la escala de puntuación 1-5 según su estado productivo.

Fase productiva	BCS
Novillas primera inseminación (11-12 meses)	3,0
Parto (Primíparas)	3,5
Parto (Pluríparas)	3,5 – 4,0
Secado	3,5 – 4,0
1º mes posparto	2,5 – 3,0
Media lactación	3,0
Final lactación	3,25 – 3,75

Adaptado de “Ranges of Ideal Body Condition Scores”, por W. Kellogg, 2010, Body Condition Scoring with Dairy Cattle, Copyright 2010 por University of Arkansas Division of Agriculture.



1.2. Valoración del BCS

1.2.1. Métodos visuales

Existe un gran abanico de métodos para la evaluación de la condición corporal (Roche et al., 2004). Entre ellos destacan los métodos que se fundamentan en una valoración visual y/o táctil de determinadas áreas o localizaciones anatómicas del cuerpo de los animales (Roche et al., 2004; Schröder y Staufenbiel, 2006; Paul et al., 2020). En vacuno de raza Holstein Friesian, los sistemas de evaluación más conocidos son la escala australiana de 1 – 8 puntos (Crosby et al., 2013), la escala de Nueva Zelanda de 1 – 10 puntos (Macdonald y Roche, 2004), y las escalas estadounidense e irlandesa de 1 – 5 puntos (Wildman et al., 1982; Edmonson et al., 1989). En todos estos sistemas de evaluación, con el número más pequeño se indican aquellos animales que se encuentran en un severo estado de delgadez mientras que los valores más altos definen animales con una condición de engrasamiento excesiva (Schröder y Staufenbiel, 2006).

En Nueva Zelanda y en Irlanda, la evaluación del BCS se realiza a través de un examen visual acompañado por la palpación de algunas áreas anatómicas de los animales. Por otro lado, en Australia y en los Estados Unidos, las regiones corporales se valoran solo de manera visual sin llegar a tocar a los animales (Roche et al., 2004).

Las zonas anatómicas de referencia según Edmonson et al. (1989) para determinar el estado de engrasamiento de los animales son (Figura 1): en la región torácica y lumbar se han de observar las apófisis espinosas de las vértebras torácicas y lumbares (B1) y la depresión entre las apófisis espinosas y transversas de estas (B2), las apófisis transversas de las vértebras lumbares (B3), la protuberancia generada en el flanco por las apófisis transversas de las vértebras lumbares y por las costillas (B4). En la región coxal las zonas anatómicas de referencia son la prominencia ósea de la tuberosidad coxal y de la tuberosidad isquiática (B5), la depresión entre la tuberosidad coxal y la isquiática (B6), la depresión entre las tuberosidades del coxal (B7), las apófisis transversas y espinosas de las vértebras coccígeas y la fosa isquiorrectal (B8).

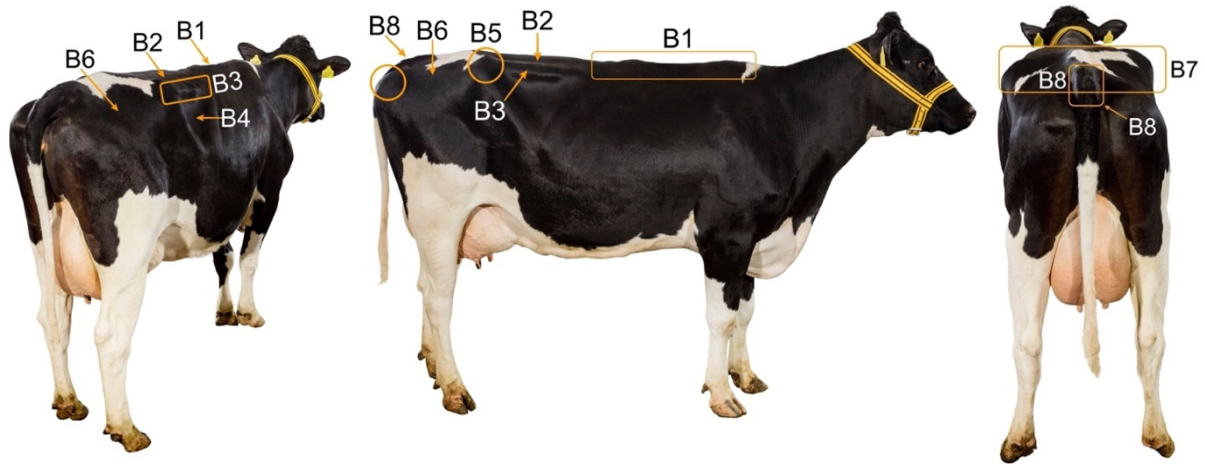


Figura 1: Regiones anatómicas para la valoración visual de la condición corporal según la escala 1-5 de Edmonson et al. (1989). Elaboración propia.

Roche et al. (2004) estudiaron la relación existente entre los diferentes sistemas de evaluación (Tabla 2). Demostraron una fuerte relación linear positiva entre los diferentes métodos de clasificación de la condición corporal ($r^2 = 0,54$ entre la escala neozelandés y la americana, $r^2 = 0,72$ entre la escala neozelandés y la irlandesa, $r^2 = 0,61$ entre la escala neozelandés y la australiana). Sin embargo, hay que destacar que esta relación se reduce cuando la valoración de los animales se lleva a cabo exclusivamente mediante la realización de un examen visual sin efectuar una palpación de las zonas anatómicas consideradas.



Tabla 2: Relación entre los diferentes métodos de puntuación del BCS.

Puntuación de acuerdo con el sistema neozelandés 1-10, puntuación de acuerdo con el sistema americano e irlandés 1-5 y puntuación de acuerdo con el sistema australiano 1-8.

Nueva Zelanda	USA	Irlanda	Australia
1,0	1,82	1,21	2,74
1,5	1,98	1,41	3,01
2,0	2,14	1,61	3,28
2,5	2,30	1,81	3,55
3,0	2,46	2,01	3,82
3,5	2,62	2,21	4,09
4,0	2,78	2,41	4,36
4,5	2,94	2,61	4,63
5,0	3,10	2,81	4,90
5,5	3,26	3,01	5,17
6,0	3,42	3,21	5,44
6,5	3,58	3,41	5,71
7,0	3,74	3,61	5,98
7,5	3,90	3,81	6,25
8,0	4,06	4,01	6,52
8,5	4,22	4,21	6,79
9,0	4,38	4,41	7,06
9,5	4,54	4,61	7,33
10,0	4,70	4,81	7,60

Tomado de "Relationship between the 10-point BCS scale used in New Zealand (NZ) and the 5-point BCS scale used in Ireland (IRE) and the United State (USA), and the 8-point BCS scale used in Australia (AUS)", por Roche et al., 2014, Relationships Among International Body Condition Scoring Systems, 9, p. 3076-3079. Copyright 2004 por la American Dairy Science Association.

En los bovinos de raza Holstein Friesian los sistemas de medición con mayor relevancia suelen ser el americano y el irlandés, es decir sistemas de evaluación de 5 puntos con un aumento de 0,25 puntos entre categorías (Schröder y Staufenbiel, 2006). Ferguson et al. (1994) demostraron como las variaciones de 0,25 puntos para la medición del BCS pueden aplicarse a rangos entre 2,5 y 4 puntos. Sin embargo, en aquellos animales que presentan BCS inferiores a 2,5 o por encima de 4, la puntuación debe ser aplicada mediante una variación de 0,5 puntos.



Cuando se valoran animales muy delgados ($< 2,5$) o demasiado gordos ($> 4,0$) es más complicado poder estimar correctamente el BCS, por ello Ferguson et al. (1994) creen que en estos casos sea más adecuado aplicar variaciones de 0,5 puntos ya que a simple vista no tenemos la capacidad de distinguir entre variaciones de 0,25 puntos en estos animales.

De manera general 1 punto de BCS se equivale más o menos a 45-60 Kg de peso vivo de una vaca adulta de raza Hostein Friesian (Kellogg, 2010).

En la escala 1 – 5, la condición corporal 1 se atribuye a aquellos animales que se encuentran en una condición corporal gravemente escasa, mientras que 5 indica animales con una condición corporal excesiva (Wildman et al., 1982; McArt, Divers y Peek, 2018). Asimismo, es posible describir la escala de puntuación de esta manera:

- 1) Es posible identificar fácilmente de manera individual todos los salientes óseos del flanco del animal: las apófisis espinosas, las transversas, las vértebras lumbares, las costillas (de manera más marcadas las últimas) y las tuberosidades de la región de la grupa. La tuberosidad coxal e isquiática son prominentes y forman una severa depresión entre ellas. La base de la cola está muy deprimida y es posible dibujar una "V" entre los salientes óseos. Además, en la depresión de la base de la cola y entre las escapulas es posibles ver varios pliegues de piel (Figura 2A).
- 2) Los salientes óseos siguen pudiéndose observar a simple vista, pero parecen presentar una leve capa de grasa de cobertura. Es posible observar las últimas costillas mientras que las demás están algo menos evidentes. La depresión entre la tuberosidad coxal y la isquiática es menos severa. La base de la cola está deprimida pero ya no es posible dibujar la "V" de manera definida entre los salientes óseos. Además, en la depresión de la base de la cola a menudo es posibles ver pliegues de piel (Figura 2B).
- 3) Los salientes óseos presentan una buena capa de grasa de cobertura de manera que se diseñan bordes redondeados. La tuberosidad coxal y la isquiática son visibles, pero tienen un perfil redondo en lugar que agudo. Resulta algo difícil poder observar las últimas costillas. En la base de la cola no es posible identificar salientes óseos y no hay acumulación de grasa en esta zona (Figura 2C).
- 4) Es posible identificar los salientes óseos del flanco del animal como las apófisis espinosas, las transversas, las vértebras lumbares, las costillas, pero no es posible identificarlas de forma individual y las tuberosidades de la región de la grupa. Asimismo, todos los salientes óseos tienen perfiles redondeados. No se diseña ninguna fosa entre la tuberosidad coxal y la isquiática, sino que la zona está algo aplanada. En la depresión de la cola es posible ver depósitos de grasa de manera que podemos dibujar una "U" entre los salientes óseos (Figura 2D).

- 5) No hay estructuras óseas aparentemente visibles a lo largo del flanco del animal. Es posible identificar depósitos de grasa en el subcutáneo. El animal en general tiene un perfil redondo en la zona de la grupa y del flanco. En la base de la cola se observa un abundante depósito de tejido graso (Figura 2E).

(Wildman et al., 1982; McArt, Divers y Peek, 2018; Kellogg, 2010)

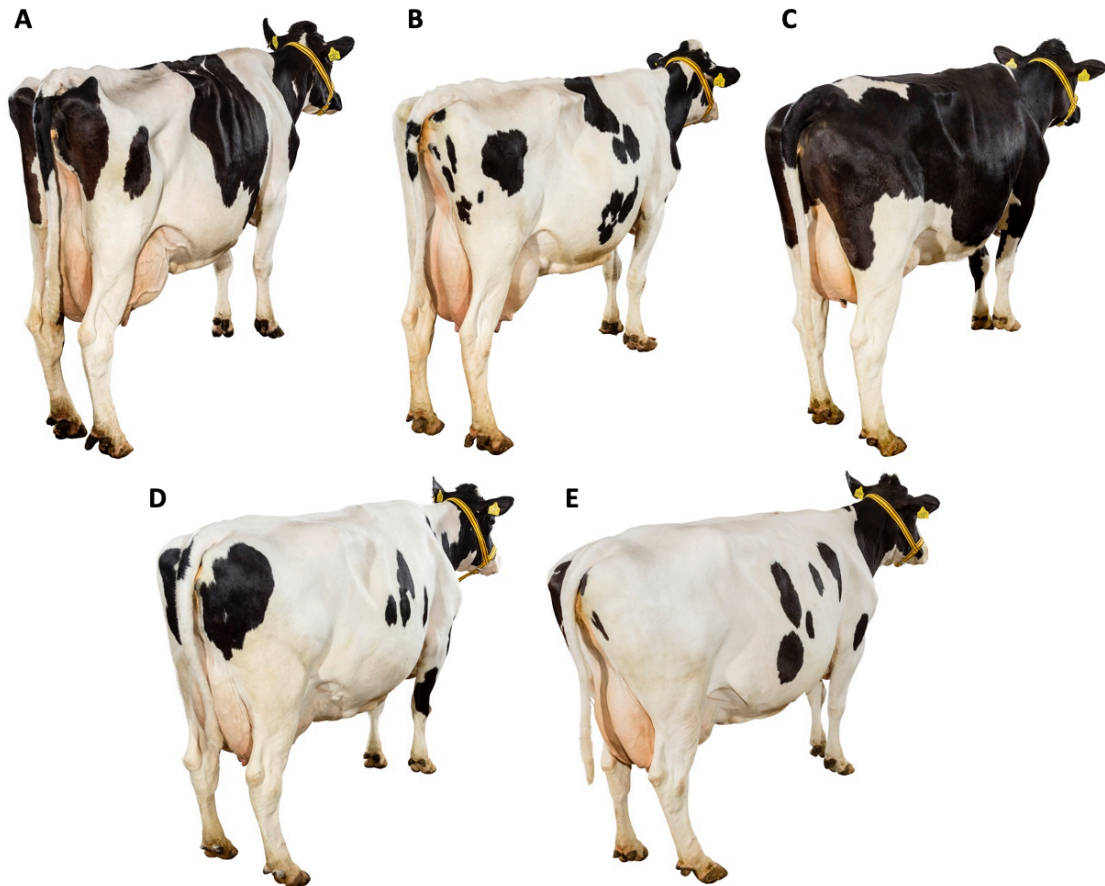


Figura 2: Diferentes valoraciones de la condición corporal en vacas de raza Holstein Friesian según la escala 1-5.

(A) BCS igual a 1, (B) BCS igual a 2, (C) BCS igual a 3, (D) BCS igual a 4, (E) BCS igual a 5.

Tomado de "Assessment of Body Condition Score", por KetoLution®, s.f., BCS – Body Condition Score, [Página web] Recuperado 9 abril de 2021, de <https://www.ketolution.com/en/bcs-body-condition-scoring>.

1.2.2. Evaluación de la condición corporal mediante ultrasonografía

La ecografía, entendida como técnica de diagnóstico, representa uno de los avances tecnológicos más importantes que hayan alcanzado la medicina veterinaria. Se trata de una técnica de diagnóstico de imagen no invasiva que tiene su fundamento en el uso de los ultrasonidos (Ginther, 1995b; Villaseñor, Palacios y González, 2012).



El espesor de la grasa representa uno de los mejores indicadores de la condición corporal de los animales y por ello de su estado nutricional (Brethour, 1992). La masa adiposa de un animal se puede estimar a partir del espesor de la grasa subcutánea. Esto se debe a la relación positiva existente entre las reservas grasas totales y el espesor de la grasa presente en el estrato subcutáneo de las vacas de raza Holstein Friesian medido ecográficamente ($r^2 = 0,36 - 0,65$, dependiendo de la zona anatómica en la que se realiza la medición) (Domecq et al., 1995; Schröder y Staufenbiel, 2006; Joshi y Herdt, 2009).

La estimación de la condición corporal mediante el uso de la observación/palpación de los animales a través de las diferentes escalas de medición, es una herramienta muy subjetiva que se ve influenciada por el mismo personal que lleva a cabo la estimación (Paul et al., 2020). Ferguson et al. (1994) informaron que las valoraciones efectuadas por personal no entrenado eran menos precisas que aquellas realizadas por personal formado y con experiencia (Ferguson et al., 1994; Schröder y Staufenbiel, 2006). Además de la experiencia y el grado de formación, para valorar un animal, el personal se puede ver influenciado por el BCS de los animales estimados hasta ese momento (Halachmi, Polak, Robets y Klopčic, 2008; Bercovich et al., 2013). Por ello, científicos como Domecq et al. (1995) sugirieron que la medición ecográfica de la grasa subcutánea podía ser un método de valoración del BCS más objetivo (Domecq et al., 1995; Broring, Wilton y Colucci, 2003; Schröder y Staufenbiel, 2006).

Existen diferentes técnicas ecográficas para valorar el espesor del tejido graso subcutáneo (Figura 3). Entre ellas las más importantes son: la medición del espesor de la grasa subcutánea en la región de la cadera por encima del músculo GM y en P8 (Johnston et al., 2009; Hussein, Westphal y Staufenbiel, 2013). Asimismo, esta región de la cadera incluye la mayoría de las zonas anatómicas generalmente usadas por Edmonson et al. (1989) para la valoración visual del BCS. La valoración ecográfica *in vivo* del espesor de la grasa subcutánea en el P8 y por encima del músculo GM han sido objeto de muchos estudios para estimar su valor predictivo en cuanto a la calidad de la canal en las razas de bovino de carne (Johns, Brackelsberg y Marchello, 1993; Realini et al., 2001). Realini et al. (2001) llegaron a la conclusión que estas mediciones mejoraban la precisión de la valoración del rendimiento de las canales de los animales estudiados.

En cuanto a las vacas de raza Holstein Friesian, Hussein et al. (2013) y Raschka et al. (2016) demostraron la existencia de una relación positiva entre el espesor de la grasa subcutánea en la región de la cadera (BFT) medida por encima del músculo GM y la condición corporal de los animales en las diferentes fases de su ciclo productivo ($r = 0,96 - 0,98$). Estos resultados acreditan el valor predictivo de la técnica ecográfica también en las explotaciones de producción lechera. Asimismo, en la región de la cadera se suele depositar una cantidad mayor

de tejido adiposo con respecto a las demás regiones anatómicas del animal. De esta manera, se ha demostrado la existencia de una importante correlación positiva entre el BFT y las reservas grasas totales de los animales estimadas visualmente ($r = 0,90$ Klawuhn, 1992; Staufenbiel, 1992; $r = 0,86$ Domecq et al., 1995) (Klawuhn, 1992; Staufenbiel, 1992; Domecq et al., 1995).

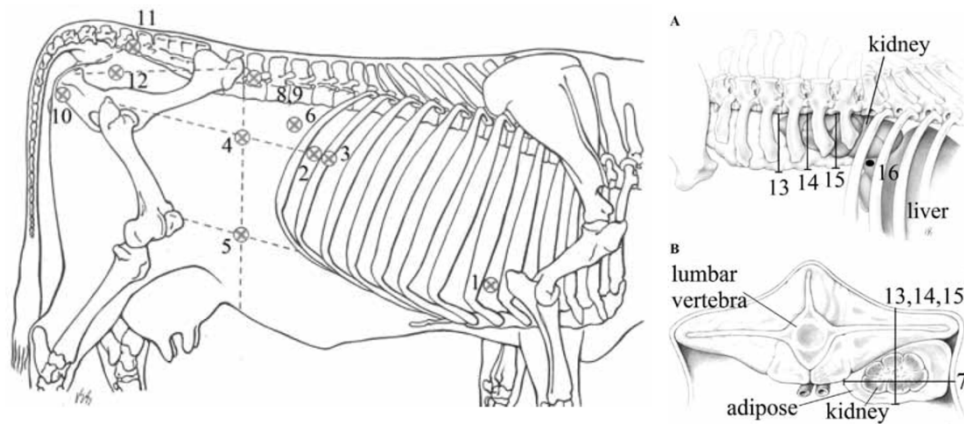


Figura 3: Descripción de las diferentes localizaciones para la medición del espesor de la grasa subcutánea en vacas de leche según Raschka et al. (2016).

(1) Primer espacio intercostal, a la altura del olecranon del cúbito; (2) Duodécimo espacio intercostal a la altura del trocánter mayor del fémur; (3) Duodécima costilla a la altura del trocánter mayor del fémur; (4) Punto de intersección entre la línea vertical perpendicular la última vértebra lumbar y la línea horizontal que es posible trazar a partir del trocánter mayor del fémur; (5) Punto de intersección entre la línea vertical perpendicular la última vértebra lumbar y la línea horizontal que es posible trazar desde la rodilla; (6) Parte central de la fosa paralumbar; (7) Paralelo las apófisis transversas de las vértebras lumbares, a la altura del riñón; (8) Entre la apófisis transversa y espinosa de las primeras vértebras lumbares; (9) En el tercio lateral entre la apófisis transversa y espinosa de las primeras vértebras lumbares; (10) En la tuberosidad isquiática; (11) En la base de la cola; (12) Espesor de la grasa de cadera (BFT); (13) Entre las vértebras lumbares en el polo caudal del riñón; (14) Entre las vértebras lumbares craneal al punto 13; (15) Entre las vértebras lumbares craneal al punto 14; (16) En el duodécimo espacio intercostal en el margen dorsal del hígado.

Tomado de "Schematic illustration of the anatomic locations used for ultrasonographic measurements of tissue layers in German Holstein cows", por Raschka et al., 2006, *In vivo determination of subcutaneous and abdominal adipose tissue depots in German Holstein dairy cattle*, 7, p. 2821-2834. Copyright 2016 por *Journal of Animal Science*.

En cuanto a la realización de la medición del espesor de la grasa subcutánea encima del músculo GM, se debe de colocar el transductor perpendicularmente sobre la línea imaginaria que es posible trazar entre la tuberosidad isquiática y el coxal del animal, más o menos a mitad de esta (Joshi y Herdt, 2011) (Figura 4). Para ello se usa una sonda linear endocavitaria con una frecuencia de 5,0 – 7,5 MHz, la misma que suele usarse en reproducción bovina (Schröder y Staufenbiel, 2006). Un cambio de 1 mm en el espesor de la grasa de cobertura en esta localización se equivale a una alteración de 5 kg en la grasa total del animal (Staufenbiel, 1992; Joshi y Herdt, 2011; Hussein, et al.2013). En la imagen ecográfica del espesor de la grasa de cadera encima del músculo *gluteus medius*, en orden (de más superficial a más profundo) observaremos las siguientes estructuras anatómicas: la piel, la fascia superficial, la fascia profunda y por último el músculo GM. El espesor de la grasa de cadera se obtiene midiendo la distancia entre la piel y la fascia profunda del músculo (Hassen et al., 1999; Realini et al., 2001) (Figura 5).



Figura 4: Localización para la medición ecográfica del espesor de la grasa subcutánea en la zona de la cadera por encima del músculo *gluteus medius*. Elaboración propia.

La línea de color verde indica la posición en la cual se debe de colocar el transductor para la medición por encima del músculo *gluteus medius*. Tuberosidad coxal (A) y la tuberosidad isquiática (B).

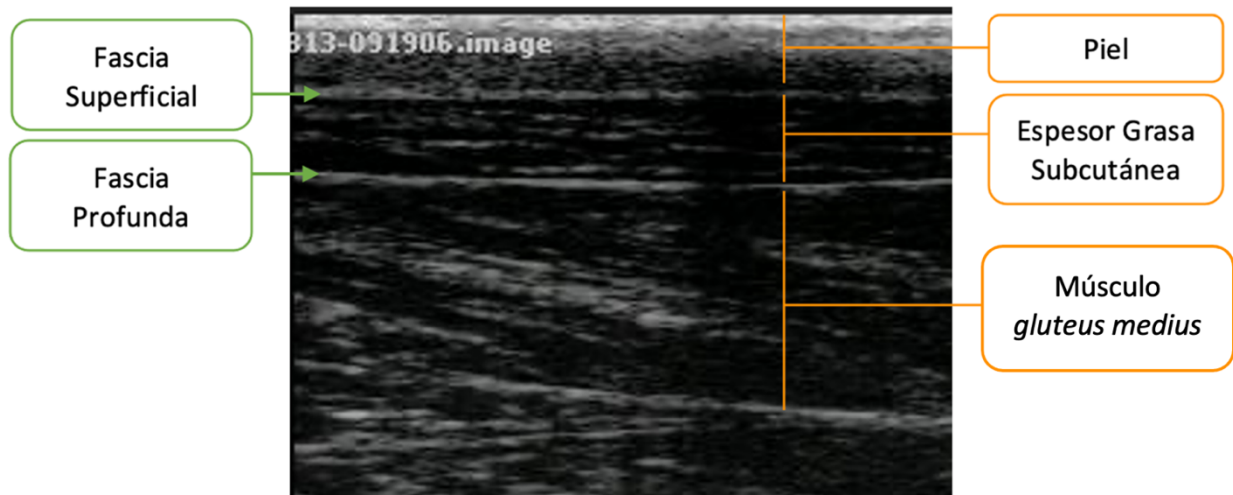


Figura 5: Descripción de una imagen ecográfica ampliada realizada por encima del músculo *gluteus medius*. Elaboración propia.

Otra medición es la valoración del espesor de la grasa subcutánea en P8. Esta valoración ecográfica se ha estudiado ampliamente y es muy utilizada en la valoración de la calidad de las canales de vacuno *in vivo*. Para su realización se necesita un transductor lineal de 3,5 MHz y de 17 cm de longitud (Williams R. E., Bertrand, Williams S. E. y Benyshek, 1997). El transductor se ha de colocar por encima de la línea imaginaria que podemos trazar entre la tuberosidad coxal e isquiática del animal (Williams R. E. et al., 1997; Realini et al., 2001) (Figura 6). La medición tendrá lugar en un punto bien determinado: el punto en el cual el músculo BF y el músculo GM se encuentran en la imagen ecográfica. En la imagen de esta zona anatómica será posible observar en orden (de más superficial a más profundo) las siguientes estructuras anatómicas: la piel, la fascia superficial y la fascia profunda del músculo BF con el respectivo músculo, la fascia superficial y la fascia profunda del músculo GM y por último el músculo GM (Hassen et al., 1999; Realini et al., 2001) (Figura 7).



Figura 6: Localización para la medición ecográfica del espesor de la grasa subcutánea en P8. Elaboración propia.

La línea de color naranja indica la posición en la cual se debe de colocar el transductor para la medición en P8. Tuberosidad coxal (A) y la tuberosidad isquiática (B).

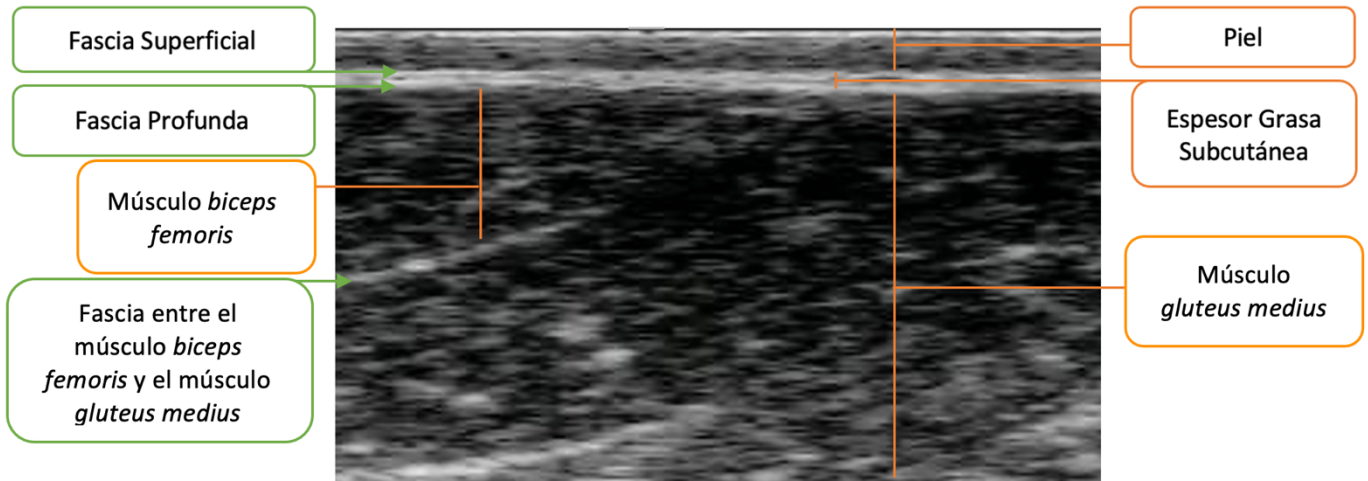


Figura 7: Descripción de una imagen ecográfica ampliada realizada en P8. Elaboración propia.

Domecq et al. (1995) no han encontrado ningún tipo de correlación entre los valores obtenidos en la medición del BFT y el lado (derecho o izquierdo) en el cual se efectúa la ecografía de manera que es indiferente si esta última se realiza en el lado derecho o izquierdo del animal (Domecq et al., 1995).



1.3. Bases fisiológicas de la reproducción

1.3.1. Pubertad en la hembra de raza Holstein Friesian

La pubertad se define como el momento fisiológico, en la vida reproductiva de los bovinos, gracias al cual las novillas adquieren la capacidad de reproducirse (Robinson y Shelton, 1991). Sin embargo, la pubertad no es sinónimo de primera ovulación. Por lo contrario, los animales suelen sufrir una serie de ovulaciones silentes en el periodo peripuberal (Moran, Quirke y Roche, 1989). Por ello, la pubertad también se puede definir como aquel momento en el cual la concentración plasmática de progesterona de las novillas se encuentra por encima 1 ngr/mL (Moran et al., 1989; Jones, Armstrong y Harvey, 1991).

El sistema nervioso central controla la actividad reproductiva de las vacas a través de dos hormonas principalmente: la hormona luteinizante (LH) y la hormona folículo estimulante (FSH) (Moran et al., 1989). La LH y la FSH se liberan a nivel adenohipofisario bajo el control de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), producida en el hipotálamo (Norris y Lopez, 2011).

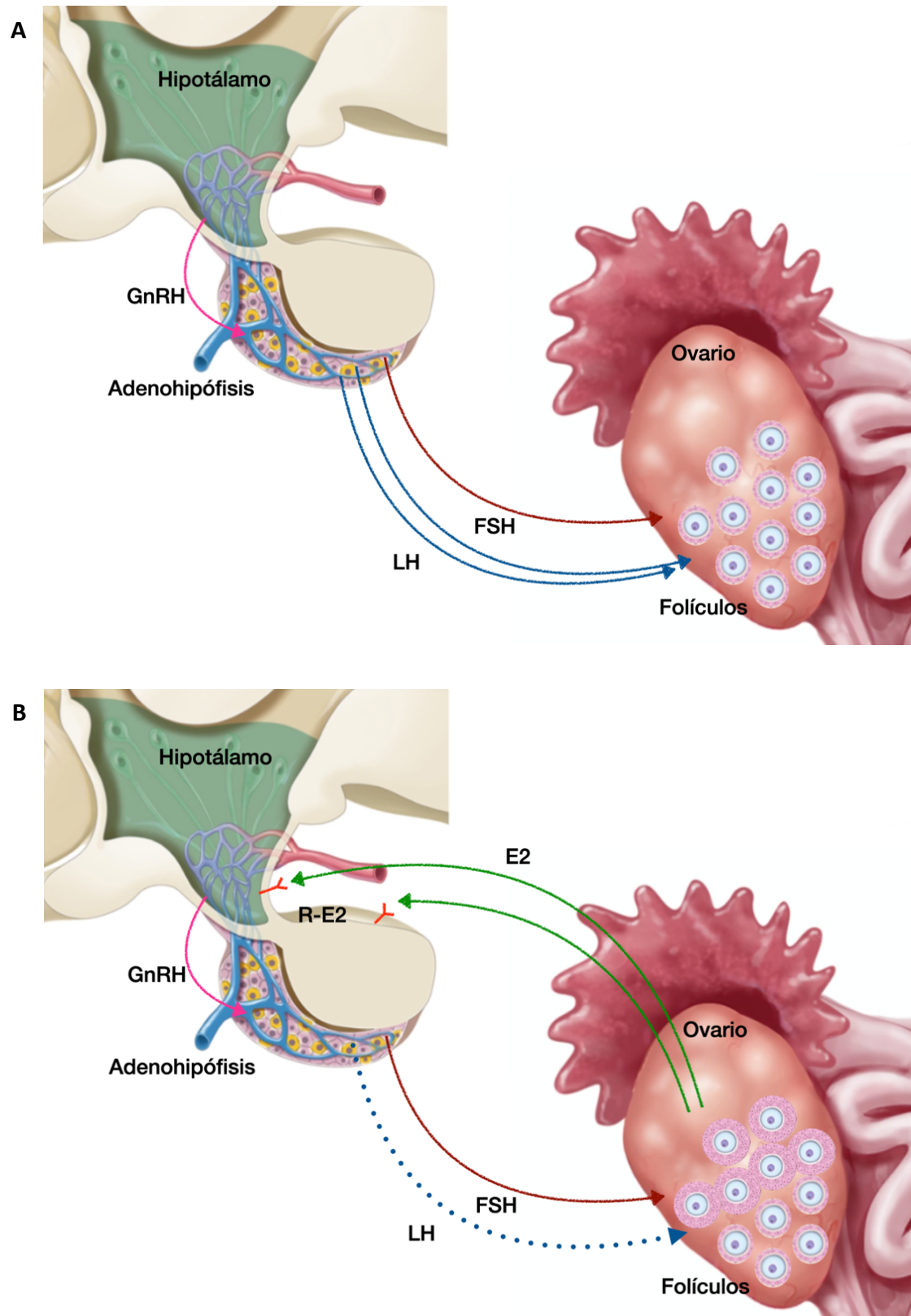
A los 3 meses de vida, las concentraciones plasmáticas de LH de las terneras alcanzan sus máximos niveles estimulando el crecimiento de los folículos primarios presentes en sus ovarios (Schams, Schallenberger, Gombe y Karg, 1981; Day et al., 1984; Atkins, Pohler, y Smith, 2013) (Figura 8A).

Asimismo, el incremento en los valores de la LH permite la liberación de estradiol-17 β (E2) por parte de las células de la granulosa de los mismos folículos ováricos. El estado anovulatorio que sufren las novillas en los primeros meses de vida se debe al efecto inhibitorio que el E2 tiene a nivel hipotalámico e hipofisario sobre la liberación de GnRH y sobre la liberación del pico de LH necesario para la ovulación (Figura 8B) (Schams et al., 1981; Day et al., 1984; Norris y Lopez, 2011; Atkins et al., 2013).

El periodo peripuberal, por definición, es aquel que precede de unos 50-120 días la pubertad. Esta fase se caracteriza por una reducción en el número de receptores para el E2 a nivel hipotalámico e hipofisario. De esta manera el efecto de retroalimentación negativa (feedback negativo) de los estrógenos sobre la liberación de picos de LH disminuye permitiendo la liberación de pulsos ovulatorios de esta hormona (1 pulsación por hora) (Figura 8C) (Day et al., 1984; Kinder, Day y Kittok, 1987; Day, Imakawa, Wolfe, Kittok y Kind, 1987; Atkins et al., 2013).

En cuanto a la FSH, sus concentraciones plasmáticas no parecen fluctuar mucho a lo largo de esta fase del desarrollo reproductivo de las novillas. Asimismo, se piensa que la FSH no

tenga un papel clave en el determinar el desencadenamiento de la pubertad en estos animales (Moran et al., 1989).



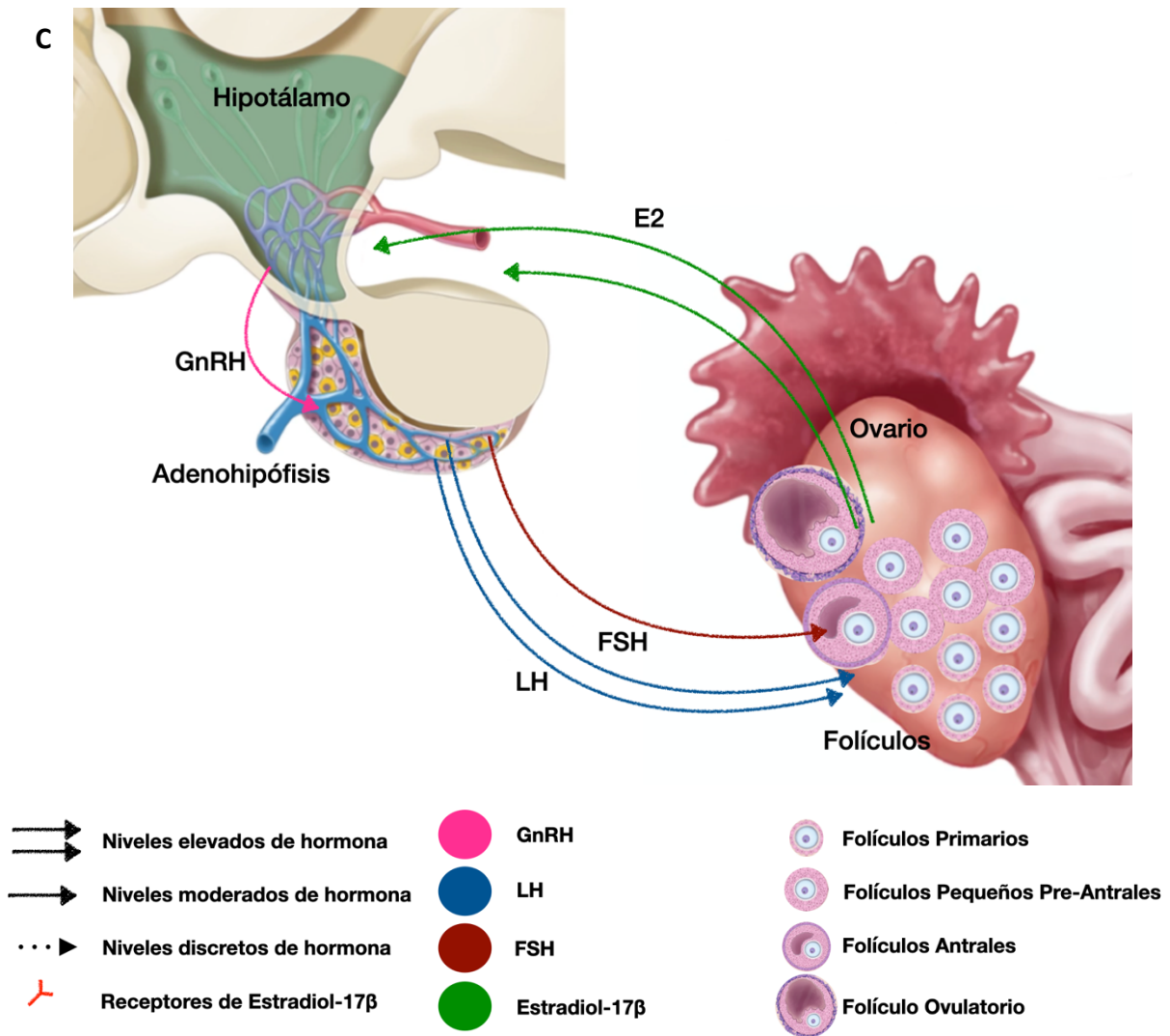


Figura 8: Acontecimientos endocrinológicos por los cuales se alcanza la pubertad en novillas *Bos taurus*.
Elaboración propia.

La imagen (A) representa los acontecimientos endocrinológicos que tienen lugar en las novillas a los 3 meses de vida, cuando los niveles de LH plasmática alcanzan sus máximos niveles. Tales niveles de LH estimulan la liberación de estradiol-17β por parte de las células de la granulosa de los folículos. El estradiol-17β inhibe la liberación de picos de LH como es posible observar en la imagen (B). La imagen (C) representa el periodo prepúber durante el cual el número de receptores para el estradiol-17β a nivel hipotalámico e hipofisario disminuye permitiendo la liberación de picos ovulatorios de LH.

Se asume que la pubertad en *Bos taurus* suele alcanzarse alrededor de los 9-10 meses de vida (Estill, 2015), aunque, de manera experimental, científicos como Seidel, Larson y Foote (1971) y McLeod, Peters, Haresign y Lamming (1985) consiguieron ovular terneras con tan solo 1 y 5 meses de vida. Estos experimentos demostraron que las novillas podrían desarrollar una actividad ovárica cíclica en edad muy temprana. Sin embargo esto, de forma fisiológica, no puede tener lugar debido al efecto inhibitor de los estrógenos (Estill, 2015).



La razón por la cual tiene lugar la supresión del feedback negativo del E2, es decir la reducción en el número de sus receptores hipotalámicos-hipofisarios, sigue siendo un ámbito de estudio en el cual aún no se ha podido alcanzar una respuesta definitiva. Entre los factores que mayor influencia, y por ello, mayor importancia parecen tener en cuanto al desarrollo de la actividad reproductiva en los bovinos, encontramos: la condición corporal y el peso de los animales así como su estado nutricional, la calidad de su alimentación, el mal estatus sanitario (enfermedades) que los animales puedan sufrir a lo largo de su juventud, la estación del año, el fotoperiodo, la raza, la genética y otros factores sociales como por ejemplo la ausencia/presencia del toro (Estill, 2015; Heryani et al., 2019). Archbold et al. (2012) y Heryani et al. (2019) demostraron como entre los factores que mayor influencia tienen en la determinación de la edad en la cual las novillas alcanzan la pubertad encontramos la condición corporal ($r = 0,852$). Una vez demostrada la relación entre el estado energético y el reproductivo, se pasó al estudio de los elementos responsables de coordinar dicha relación. Aunque el mecanismo fisiológico exacto por el cual la condición corporal afecta a la reproducción aún no está del todo claro, entre los factores que si tienen relevancia se identificaron las leptinas (Williams et al., 2002; Amstalden, 2003).

La leptina es una hormona sintetizada por los adipocitos y cuyos receptores (Ob-R) se encuentran en gran medida a nivel hipotalámico e hipofisario. En particular, los Ob-R del hipotálamo se disponen en los núcleos arcuato y ventromedial. Estas áreas son las que regulan el crecimiento además del comportamiento alimenticio y reproductor en los bovinos (Williams et al., 2002; Amstalden, 2003). Gracias a las leptinas y sus receptores los animales pueden regular su actividad reproductiva, entre las cuales se encuentra la pubertad, en función de su balance energético (Williams et al., 2002; Amstalden, 2003). Asimismo, las leptinas trabajan como “sensores” de las reservas de grasas del animal es decir que funcionan como un puente de información que comunica las disponibilidades energéticas y las necesidades del sistema reproductor (Vernon y Houseknecht, 2000). Gracias a estos últimos estudios cabe la posibilidad de poder valorar el balance energético con el fin de determinar cómo influye en la pubertad.



1.3.2. Descripción del ciclo estral en bovinos de raza Holstein Friesian

Las vacas son mamíferos poliéstricos anuales, lo que significa que su ciclo estral se repite de forma constante y regular a lo largo de todo el año (Gnemmi, Echegary, Escartin, Muñoz y Maraboli, 2020).

De forma esquemática, el ciclo estral se puede dividir en 2 grandes fases que a su vez se componen de otras 2 etapas cada una (Figura 9).

La primera es la fase luteal que inicia después de la ovulación. Se describe como la fase de desarrollo y madurez del cuerpo lúteo. Esta estructura es el resultado de la transformación del folículo ovulado bajo la influencia de la LH. Asimismo, a lo largo de esta fase se da el reclutamiento folicular, la selección y la desviación del folículo dominante de cada onda. La fase luteal se compone a su vez las etapas de metaestro y diestro. Durante los días sucesivos la ovulación tiene lugar la etapa del metaestro del ciclo estral. Esta se caracteriza por el reclutamiento de una nueva onda folicular y por la transformación del folículo ovulado en el cuerpo hemorrágico. Las células de la granulosa y de la teca del cuerpo hemorrágico gracias a los efectos de los pulsos de LH sufren un proceso de luteinización que lleva a la formación del cuerpo lúteo. Durante el diestro el cuerpo lúteo madura y libera concentraciones elevadas de progesterona (P4) en el torrente sanguíneo.

La segunda fase, llamada fase folicular, como bien indica su nombre, es la fase en la cual tienen lugar la maduración del folículo dominante hasta dar lugar al folículo preovulatorio, también llamado folículo de Graaf. En la fase folicular podemos hablar de la etapa del proestro y de la etapa del estro. Durante el proestro, tienen lugar los primeros cambios hormonales que permiten el subsiguiente desencadenamiento de la ovulación en la fase de estro. Por ello, en esta etapa veremos la regresión del cuerpo lúteo con la subsiguiente reducción de la concentración plasmática de P4 y un aumento en la frecuencia de la pulsatilidad de la GnRH, de la FSH y de la LH. Durante el estro los animales manifestarán los signos típicos del celo como por ejemplo la monta activa, la monta pasiva, el aumento de actividad motora, etc. Con la ovulación termina la fase folicular e inicia la fase luteal (Norris y Lopez, 2011; Gnemmi et al., 2020).

En el pasado existían varias hipótesis sobre el funcionamiento fisiológico del aparato reproductor de las hembras y en particular sobre el ovario (DesCôteaux et al., 2010). En 1980, año en el cual la ecografía entró a formar parte del mundo de la medicina veterinaria, se consiguió demostrar que el ovario de las vacas presenta constantemente folículos en su interior que van creciendo y degenerándose de manera cíclica describiendo un patrón que se define como “ondas foliculares” (Adams, Jaiswal, Singh y Malhi, 2008; DesCôteaux et al., 2010; Fernández Sánchez, 2013).



El ciclo de la mayoría de las hembras *Bos taurus* tiene una duración de 21 días en promedio. Esta es una estimación imprecisa ya que representa la media aritmética entre la duración real del ciclo de los animales que presentan dos ondas foliculares y del ciclo de los animales con tres ondas. Los animales con dos ondas foliculares se caracterizan por tener un ciclo más corto, de 18-20 días, mientras que aquellos con tres ondas foliculares se caracterizan por tener ciclos más largos, de 22-24 días (Adams et al., 2008; Gnemmi, 2013). Ahmad, Townsend, Dailey e Inskeep (1997) vieron que los animales a tres ondas foliculares presentaban mejores tasas de preñez con respecto a los animales a dos ondas. Esta correlación positiva se cree tenga su explicación en el hecho que los ovocitos ovulados por los animales con dos ondas son en comparación más viejos, y por ello probablemente menos fértiles que los ovocitos ovulados por los animales con tres ondas (Adams et al., 2008). Asimismo, Jaiswal, Singh, Marshall y Adams (2009) demostraron que la mayoría de los animales adultos desarrollan dos ondas foliculares por ciclo lo que haría sospechar de una posible relación positiva entre el número de ondas foliculares y la madurez sexual de las vacas. Este dato explicaría porque en comparación, los animales más jóvenes parecen ser más fértiles (Jaiswal et al. 2009).

Los ovarios siempre han de considerarse como un conjunto debido a que cada uno de los acontecimientos que tienen lugar en su interior se ve determinado por unos precisos cambios que tienen lugar a nivel del plano hormonal (Adams et al., 2008; Amstalden y Williams, 2015). A lo largo del ciclo estral, cada 7-10 días, aumenta la concentración plasmática de FSH (DesCôteaux et al., 2010). Esta hormona es la causa del reclutamiento de los folículos primarios y de su crecimiento. Normalmente se reclutan unos 5-10 folículos cuyo diámetro, en esta fase del ciclo, está en unos 2-5 mm (Gnemmi, 2013). Entre ellos se encuentra un folículo que crecerá más rápido con respecto a los demás y será cómplice de la inhibición del crecimiento de estos y de su atresia. Una vez que el folículo de mayor tamaño alcance un diámetro de 8 mm tiene lugar la desviación. Este último seguirá creciendo ya que, al ser más grande, resulta ser más sensible a la FSH, aunque se encuentre en pequeñas concentraciones. Este fenómeno se debe a que este folículo tiene un gran número de receptores para esta hormona en su superficie (Fernández Sánchez, 2008; Gnemmi, 2013). Asimismo, el folículo dominante presenta en la superficie de las células de la granulosa los primeros receptores para la LH (Ginther, Beg, Bergfelt, Donadeu y Kot, 2001). El destino del folículo dominante depende de la presencia o ausencia del cuerpo lúteo y por ello de la presencia o ausencia de progesterona (Fernández Sánchez, 2008; Norris y Lopez, 2011).

En cuanto a la relación entre los niveles de progesterona plasmática y el tamaño del cuerpo lúteo, parece existir una relación positiva entre ellas. Esta relación, además, resulta ser más marcada en las novillas (Assey, Purwantara, Greve, Hyttel y Schmidt, 1993; Mann, 2009).



En la fase luteal, debido a los altos niveles de progesterona, se dan escasos pulsos de LH de manera que el folículo dominante de la primera onda, en vacas a dos ondas, y de la primera y segunda onda en vacas a tres ondas, crece muy despacio. Por ello, estos folículos no llegan a ovular, sino que, al igual que los demás folículos reclutados (folículos de la cohorte), se atresian (Adams et al., 2008). Alrededor de los 8-9 días del ciclo (en los animales con dos ondas) se da un pico de FSH que permite el reclutamiento de una nueva onda folicular 12 horas después (en los días 9-10 del ciclo). En los animales con tres ondas foliculares, el reclutamiento de la segunda onda tendrá lugar a los 8-9 días del ciclo y de la tercera a los 15-16 días (Adams et al., 2008; Gnemmi, 2013). Alrededor del día 16 del ciclo en los animales con dos ondas foliculares y del día 18-19 en los animales con tres ondas foliculares, de no mediar gestación, el endometrio libera pulsos de $\text{PGF2}\alpha$ que conllevan la luteólisis del cuerpo lúteo y con ello la caída repentina de los niveles de progesterona. Tras estos eventos empieza la fase folicular del ciclo. Gracias a la caída de la progesterona, cesa el proceso de inhibición sobre la liberación de LH de manera que la frecuencia y la pulsatilidad de los pulsos de esta hormona aumenta: se pasa de tener un pico cada 4-6 horas a tener un pico cada hora (Amstalden y Williams, 2015). Gracias a estos cambios en el plano hormonal de los animales, el folículo dominante culmina su maduración y ovula (Amstalden y Williams, 2015).

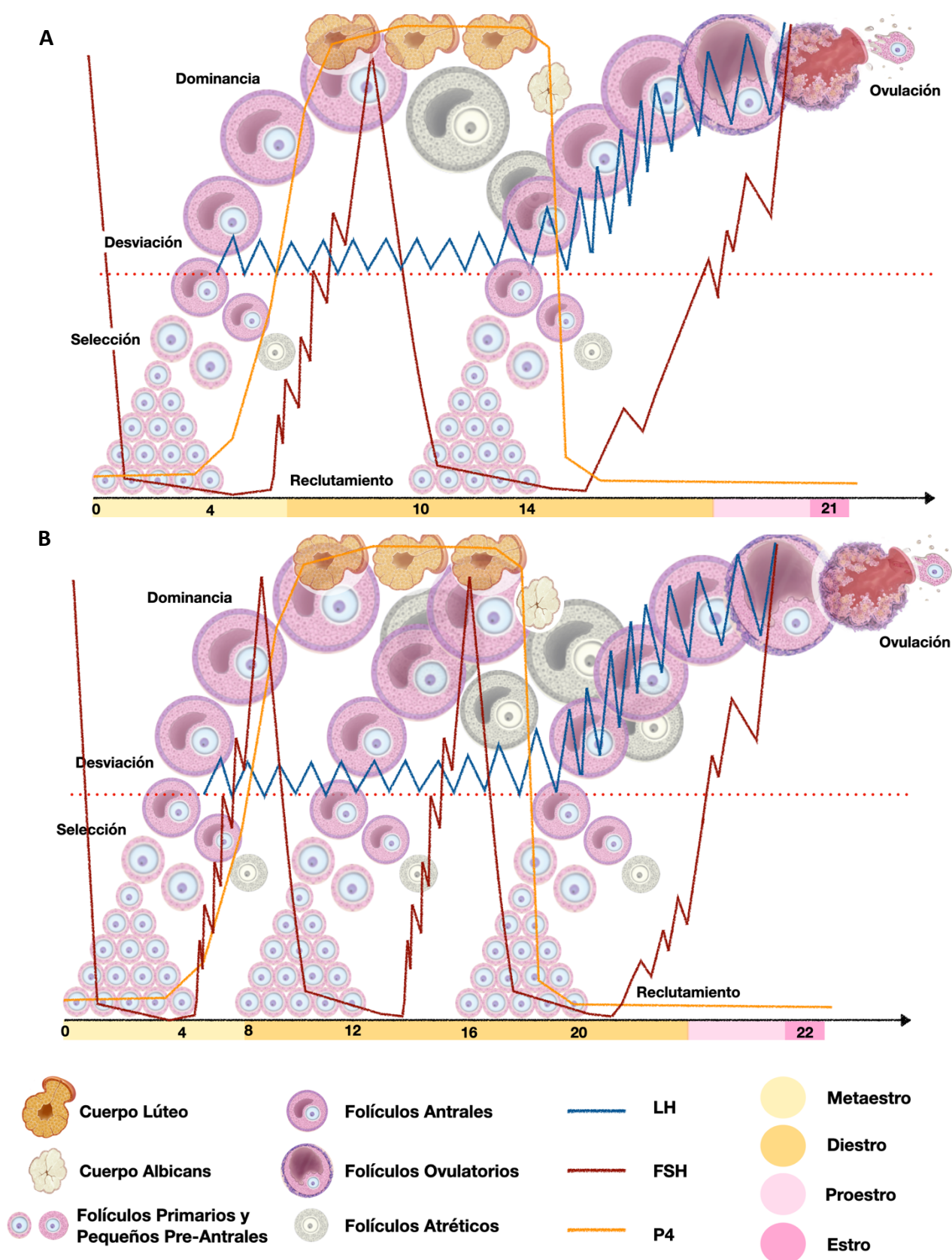


Figura 9: Ciclo estral en bovinas *Bos taurus* con dos ondas foliculares (A) y con tres ondas foliculares (B). Elaboración propia.



1.4. Valoración estado reproductivo

1.4.1. Ecografía ovárica en Holstein Friesian

El advenir de la ecografía permitió cambiar la clínica reproductiva de la especie bovina (Ribadu y Nakao, 1999). Gracias al estudio ecográfico de los ovarios se pudo entender su funcionamiento. Se pudo seguir el crecimiento y retroceso de las ondas foliculares y de esta manera demostrar que los *Bos taurus* son animales a 2 o 3 ondas foliculares (Ribadu y Nakao, 1999; Giraldo E., 2003). Para una correcta y completa valoración de la fase del ciclo en la que se encuentra un animal, es fundamental valorar un conjunto de estructuras: los folículos (la mapa folicular), el o los cuerpos lúteos presentes y las características uterinas (espesor/ecogenicidad del miometrio, de la túnica vascular y del endometrio, la presencia/ausencia de secreciones en el lumen uterino y su forma) (DesCôteaux et al., 2010). Solo a través de este análisis de estructuras del aparato reproductor en conjunto, podremos llegar a determinar con precisión en qué etapa del ciclo estral se encuentra el animal: metaestro, diestro, proestro, estro o anestro (Gnemmi et al., 2020).

El cuerpo lúteo es uno de los protagonistas de la ecografía ovárica por lo que debemos familiarizar con él y ser capaces de identificarlo ecográficamente. Con respecto al estroma del ovario, en una imagen ecográfica, el cuerpo lúteo se ve como una estructura hipoe cóica que presenta una morfología muy variable. En el mismo ovario es posible observar uno o más cuerpos lúteos que pueden tener diferentes tamaños y presentar o no cavidad con o sin trabéculas en su interior (DesCôteaux et al., 2010).

En cuanto a los folículos, aparecen como estructuras circulares anecoicas debido al líquido presente en su interior. Es posible encontrar folículos con diferentes tamaños dependiendo del estadio de desarrollo en el cual se encuentran. Suelen tener una forma circular, aunque algunos pueden estar deformados debido a la compresión ejercida por las demás estructuras presentes en el mismo ovario. La pared folicular, se ve como una línea estrecha, lisa y continua que no es distinguible del estroma ovárico (Ginther, 1995a; DesCôteaux et al., 2010).



2. Objetivos

Por todo lo dicho anteriormente, los objetivos del presente trabajo fueron:

1. Evaluar la pubertad en novillas a través de la medición de los niveles de progesterona plasmática y la valoración ecográfica de las estructuras presentes en sus ovarios.
2. Evaluar el valor predictivo de diferentes técnicas para la estimación de la condición corporal con respecto a la pubertad.
3. Evaluar la relación existente entre las técnicas llevadas a cabo para la estimación de la condición corporal en novillas de raza Holstein Friesian.



3. Material y Métodos

3.1. Localización del establecimiento

El presente trabajo se realizó en la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele sociedad simple (s.s.) (Figura 10). Es una empresa de tipo familiar que se dedica a la producción de leche desde hace más de 80 años. Se encuentra situada en Romano de Lombardia, en la provincia de Bérgamo, en Italia (Figura 11). Esta zona del norte de Italia es famosa por albergar un gran número de empresas que se dedican a la producción de leche.

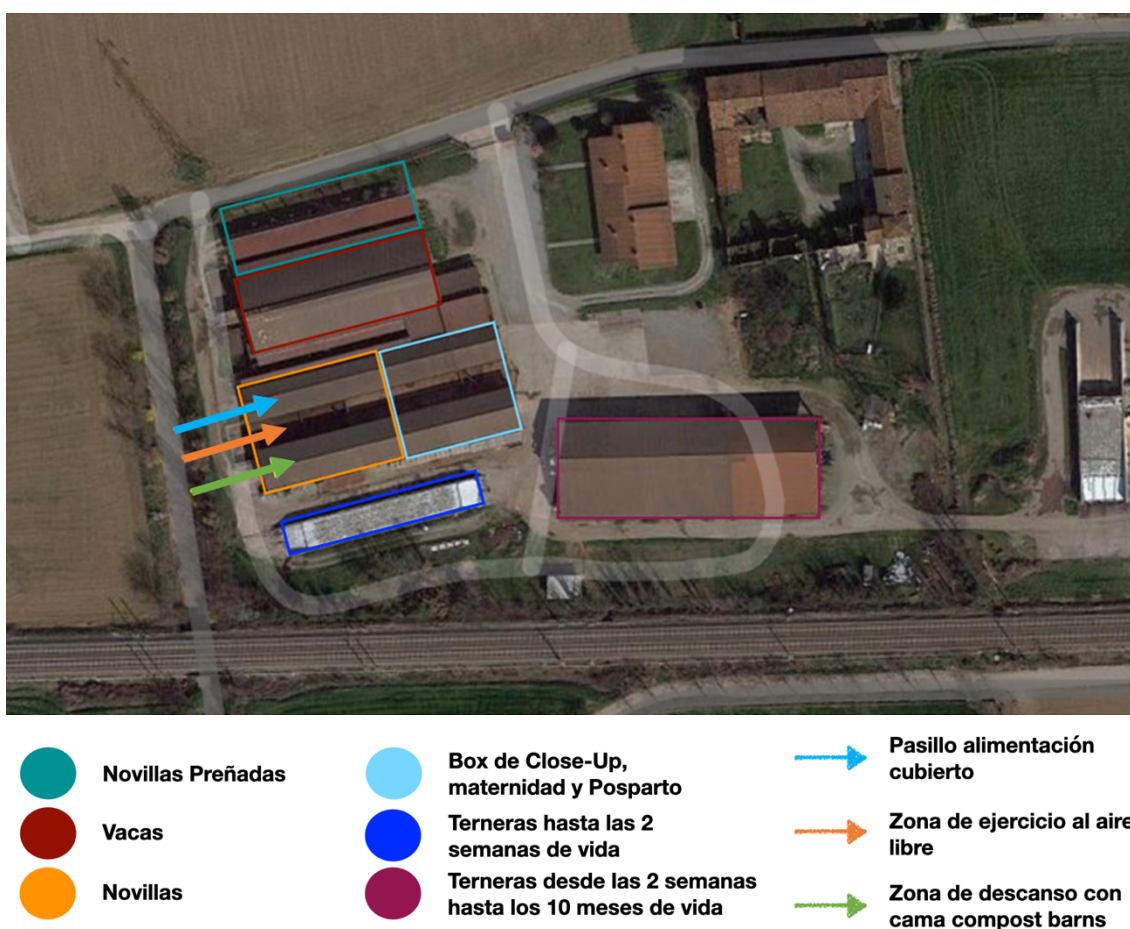


Figura 10: Imagen satelital de la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele s.s.



Figura 11: Mapa del norte de Italia donde se indica la localidad en la cual se encuentra la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele s.s.

Con la señal roja se marca la localidad Romano de Lombardía (provincia de Bérgamo) donde se ubica la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele s.s.

[Página web] Recuperado 12 abril de 2021, de <https://www.google.es/maps>.

La Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele s.s. cuenta con 85,70 hectáreas de las cuales 2,50 se han destinado para la construcción de la explotación. En la explotación es posible encontrar un total de 124 vacas Holstein Friesian en lactación que producen un promedio diario de 39 kg de leche en un esquema productivo de dos ordeños/día. De estos 124 animales el 37% son hembras primíparas, el 28% son hembras de segundo parto, el 19% son hembras de tercer parto, el 10% son hembras de cuarto parto y el 6% son hembras de quinto parto (Figura 12). El total de la leche producida se recoge por la empresa Lactis®. En año 2020 la producción total ha sido de 16.800 quintales de leche.

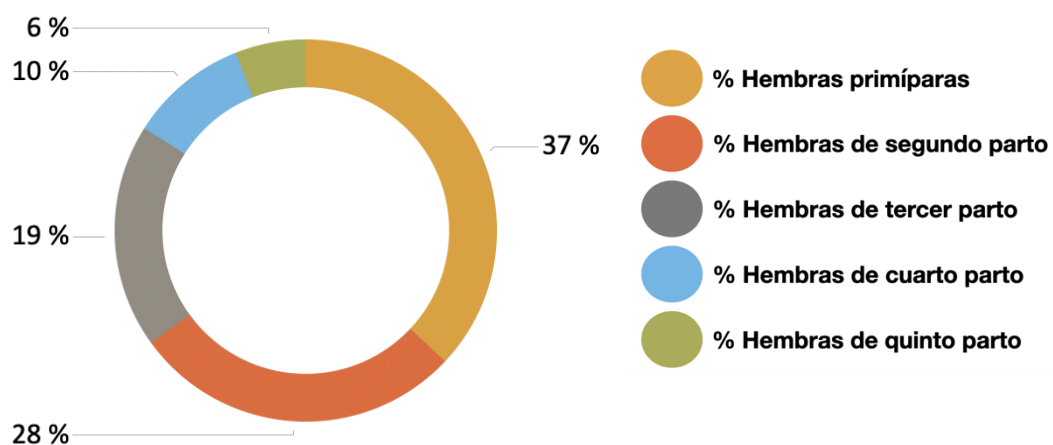


Figura 12: Distribución de los animales según el número de partos dentro del rebaño de la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele s.s.

3.2. Características de alojamiento y manejo nutricional

La nave donde se albergaban las novillas disponía de una superficie de 6 m² por animal. Era una estabulación de tipo libre que se componía de tres partes: un pasillo de alimentación cubierto con agua y alimento a libre disposición de los animales, un área de ejercicio al aire libre y una zona de descanso cubierta con cama tipo compost barns. La ventilación era de tipo natural (Figura 13).



Figura 13: Imágenes de la nave destinada a las novillas de la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele S.S.



En cuanto al manejo nutricional, la ración de las novillas y de los animales en producción diferían ya que se ajustaba a los requerimientos energéticos necesarios en relación con la etapa productiva y reproductiva en la que se encontraban los animales (National Research Council (U.S.), 2001). La ración diaria de las novillas se componía de 10 kg de grano de maíz, 3,5 kg de heno de alfalfa, 1,7 kg de semillas de girasol y 150 gr de corrector (Trouw Nutrition®, Países Bajos) (Anexo I).

3.3. Selección de los animales incluidos en el estudio

Para el siguiente estudio se seleccionaron 21 novillas de raza Holstein Freisian de 11-12 meses de edad las cuales formaban parte de la reposición del rebaño de la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele s.s.

Todas las novillas del estudio en el último año se vacunaron frente al virus de la Diarrea Vírica Bovina (Bovela BVD®, Boehringer Ingelheim) (Anexo II).

En la Società Agricola Bellini Alessandro e Daniele s.s., a los 11-12 meses a todas las novillas de la explotación se le efectúa un control ecográfico del aparato reproductor para valorar el estado reproductivo de estas antes de que entren a formar parte del grupo de animales en producción. En el caso del grupo de animales seleccionado para el presente estudio, este control ecográfico coincidió con el que se efectuó para la recolección de los datos necesarios para el mismo.

3.4. Herramientas de diagnóstico

Con el fin de conseguir los objetivos propuestos, a todos los animales incluidos en el estudio se realizó:

- A. evaluación visual de la condición corporal utilizando la escala de puntuación irlandesa 1-5 basada en el modelo de Wildman et al. (1982) descrita en el punto 3.4.1.,
- B. evaluación de si las novillas han alcanzado la etapa de pubertad mediante una extracción de sangre con el fin de medir la concentración de progesterona plasmática descrita en el punto 3.4.2. y un estudio ecográfico de ambos ovarios descrito en el punto 3.4.3.,
- C. evaluación del espesor de la grasa subcutánea sobre el del músculo *gluteus medius* y en P8 descritos respectivamente en los puntos 3.4.4 y 3.4.5.



3.4.1. Valoración del BCS

Una vez dispuestas las novillas en las cornadizas autobloqueantes que se encontraban en el pasillo de alimentación, se realizó la valoración de su condición corporal mediante el uso de la escala de puntuación irlandesa 1-5 de Wildman et al. (1982). Según lo establecido por esta escala, la condición corporal 1 se atribuye a aquellos animales que se encuentran en una condición corporal gravemente escasa, mientras que 5 indica animales con una condición corporal excesiva (Wildman et al., 1982). A cada novilla se le atribuyó una puntuación basándose en la observación y palpación de las diferentes partes del esqueleto de los animales descriptas por Wildman et al. (1982). El grado de variación aplicado fue de 0,25 puntos en variaciones comprendidas entre 2,5 y 4 puntos y de 0,5 en aquellos animales clasificados por debajo de 2.5 o por encima de 4 (Ferguson et al., 1994; Schröder y Staufenbiel, 2006). El valor de BCS atribuido a cada una de las novillas fue apuntado en una hoja de trabajo donde figuraban las regiones anatómicas a evaluar, el número de la novilla y la puntuación atribuida a su condición corporal (Anexo III).

3.4.2. Cuantificación de los niveles de progesterona en plasma

Finalizada la valoración visual de la condición corporal de los animales se procedió a la extracción de sangre con el fin de poder determinar la concentración de progesterona. La medición de la concentración plasmática de progesterona junto con la ecografía ovárica, fueron las dos técnicas usadas para establecer el estado reproductivo de las novillas (Archbold et al., 2012). Para diseñar los pasos para la realización de esta prueba se siguió el modelo de trabajo llevado a cabo por Jones et al. (1991). Para ello se efectuó una punción a nivel de la vena coccígea de cada animal. Se utilizó una aguja vacutainer calibre 20G (BD Vacutainer®, México), una camisa de agujas vacutainer (BD Vacutainer®, México) y un tubo de recolección de sangre estéril sin anticoagulante (BD Vacutainer®, México) (Figura 14A). Antes de cada extracción, se retiraron posibles restos de material fecal del área de punción y se efectuó una limpieza de la zona con papel mojado con alcohol. El proceso se llevó a cabo de manera higiénica, haciendo uso de guantes y cambiando la aguja entre cada animal. Todos los tubos se llenaron hasta los dos tercios de su volumen total (Figura 14B). Todas las muestras se fueron guardando en una nevera digital portátil que se encontraba a una temperatura de 4°C.

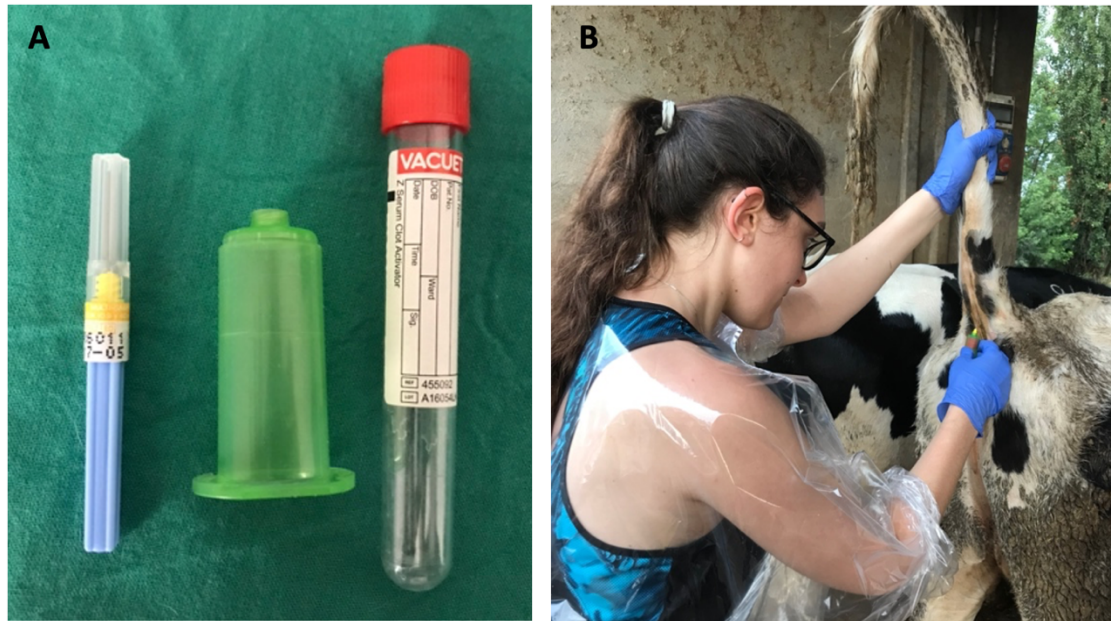


Figura 14: Recolección de sangre desde la vena coccígea para la determinación de los niveles de progesterona plasmática.

En la imagen (A) es posible observar el material usado para la recolección de las muestras de sangre. En orden: aguja vacutainer calibre 20G (BD Vacutainer®, México), camisa de agujas vacutainer (BD Vacutainer®, México) y un tubo de recolección de sangre estéril sin anticoagulante (BD Vacutainer®, México).

En la imagen (B) es posible observar cómo se lleva a cabo la técnica de extracción de sangre desde la vena coccígea.

Una vez recolectadas todas las muestras, los tubos se centrifugaron a 1500 revoluciones por minuto (rpm) durante 25 minutos. El plasma obtenido debido a la separación por sedimentación de la sangre durante la centrifugación se transfirió mediante el uso de una pipeta a un tubo Eppendorf de 1,5 mL (Eppendorf™, German) (Figura 15) previamente rotulado con el número del animal y se conservó a -20°C. El proceso de centrifugación y congelación de las muestras tuvo lugar en menos de 2 horas desde la realización de la toma de sangre. Los tubos se enviaron a los laboratorios del Instituto Zooprofilattico Sperimentale della Lombardia e dell'Emilia Romagna (Italia). El transporte se llevó a cabo garantizando el mantenimiento de las temperaturas de congelación. En el laboratorio la valoración cuantitativa de P4 se llevó a cabo mediante la realización de una prueba de radioinmunoensayo (RIA).

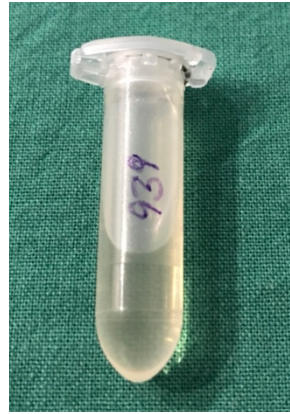


Figura 15: Muestra de suero en un Eppendorf de 1,5 mL (EppendorfTM, German).

3.4.3. Valoración ecográfica del estado reproductivo

Una vez finalizada la toma de muestras de sangre, se procedió a realizar el examen ecográfico por vía transrectal de los ovarios de las novillas objeto de estudio. Para ello se usó un ecógrafo portátil (ExaGo®, IMV Imaging, Francia) y una sonda endocavitaria linear de 11 cm y 7,5 MHz (IMV Imaging, Francia) (Figura 16). El examen se realizó con la siguiente configuración del equipo de ultrasonidos: profundidad 80-100 mm, foco 40 mm, ganancia 64, ganancia parcial cercana 8, medio cercana -16, medio lejana -64, lejana -96, rango dinámico 60, suavidad 2, potencia 100%.



Figura 16: Ecógrafo veterinario portátil ExaGo® (IMV Imaging, Francia) y sonda endocavitaria linear de 11 cm y 7,5 MHz (IMV Imaging, Francia).

[Página web] Recuperado 12 abril de 2021, de <https://www.imv-imaging.es/>.

Previo la introducción de la sonda y el inicio del examen se procedió, en caso de ser necesario, a la extracción manual del material fecal del recto. El examen se limitó a la valoración de ambos ovarios de los animales con el fin de valorar la presencia de folículos y cuerpos lúteos. De cada ovario se efectuaron una o más captura de imagen para poder medir el diámetro de cada uno de los cuerpos lúteos identificados (Figura 17). La valoración del mapa folicular y de los cuerpos lúteos se ha utilizado como método indirecto y complementario a la medición de los niveles de progesterona con el fin de determinar el estado reproductivo de las novillas. En particular se quiso valorar si los animales objeto de estudio estuvieran ciclando regularmente y que no estuvieran afectado por ningún tipo de patología reproductiva.

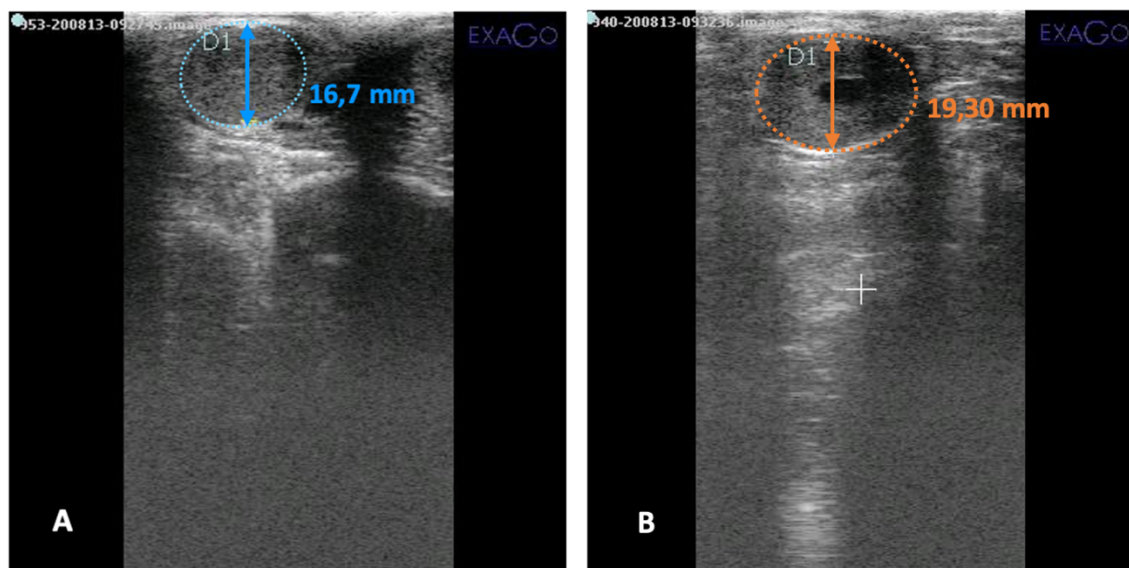


Figura 17: Ecografías ovario derecho e izquierdo de unas de las novillas incluidas en el estudio.

En la imagen (A), correspondiente al ovario izquierdo de la novilla número 953, es posible observar un cuerpo lúteo de 16,70 mm de diámetro (color azul). La imagen (B), correspondiente al ovario derecho de la novilla número 940, se observa un cuerpo lúteo con un diámetro de 19,30 mm (color naranja).

3.4.4. Ecografía de la grasa subcutánea a nivel del músculo *gluteus medius*

Una vez realizadas todas las ecografías ováricas, se procedió a la realización de la determinación del espesor de la grasa subcutánea por encima del músculo *gluteus medius*. Para ello, se usó el mismo equipo y la misma sonda utilizada para la valoración ecográfica de los ovarios. El examen se realizó con la siguiente configuración del equipo de ultrasonidos: profundidad 160 mm, foco 40 mm, ganancia 40, ganancia parcial cercana 24, medio cercana 0, medio lejana -24, lejana -24, rango dinámico 60, suavidad 2, potencia 100%.

La recogida de datos se efectuó en el mes de agosto, de manera que los animales no presentaban una capa de pelo muy espesa por lo que no fue necesario esquilar para la

realización de las ecografías. La zona entre la tuberosidad isquiática y la coxal se lubricó con aceite vegetal. Con la mano izquierda se sujetó la sonda y se ubicó perpendicular a la línea media del animal y equidistante entre las tuberosidades coxal e isquiática (Figura 18) (Joshi y Herdt, 2011). Una vez obtenida la imagen deseada se realizó una captura de imagen. La imagen de la región de estudio debía de contener las siguientes estructuras y en el siguiente orden (de más superficial a más profundo): la piel, la fascia superficial, la fascia profunda y por último el músculo *gluteus medius*. El espesor de la grasa de cadera se obtuvo midiendo la distancia entre la piel y la fascia profunda del músculo (Figura 19).



Figura 18: Posicionamiento de la sonda para la realización de la medición de la grasa subcutánea encima del músculo *gluteus medius*.

La sonda debe de posicionarse perpendicular la línea imaginaria (línea de guiones roja) que es posible diseñar entre la tuberosidad coxal (A) y la tuberosidad isquiática (B).

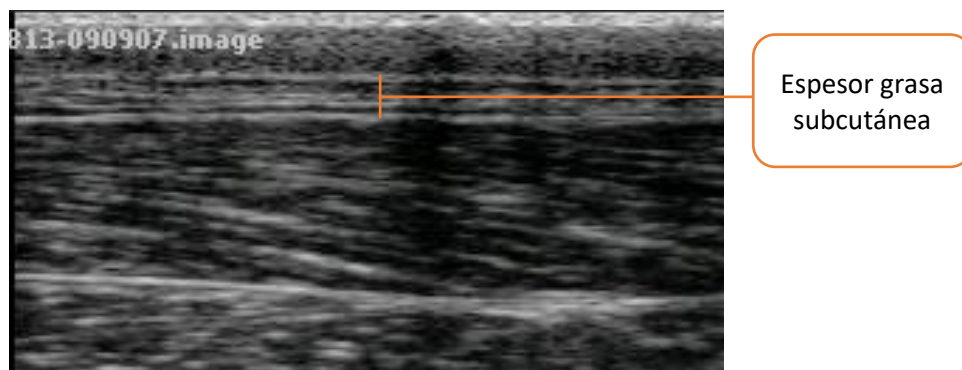


Figura 19: Imagen ecográfica ampliada de la medición de la grasa subcutánea por encima del músculo *gluteus medius*.

3.4.5. Ecografía de la grasa de cobertura en P8

Por último, se realizaron las imágenes ecográficas para la estimación del espesor de la grasa subcutánea en P8. El ecógrafo usado fue el mismo usado para las pruebas anteriores, pero se le aplicó una sonda diferente. Para la realización de estas imágenes se usó una sonda linear de 17 cm y 3,5 MHz (IMV Imaging, Francia) (Williams R. E. et al., 1997) (Figura 20). El examen se realizó con la siguiente configuración del equipo de ultrasonidos: profundidad 160 mm, foco 40 mm, ganancia 32, ganancia parcial cercana 24, medio cercana 0, medio lejana -24, lejana -24, rango dinámico 60, suavidad 2, potencia 100%.



Figura 20: Sonda linear de 17 cm y 3,5 MHz (IMV Imaging, Francia).

[Página web] Recuperado 12 abril de 2021, de <https://www.imv-imaging.es/>.

Al igual que para la medición de la grasa subcutánea por encima del músculo *gluteus medius*, para la realización de las imágenes ecográficas fue suficiente aplicar aceite vegetal en la zona a estudiar, sin necesidad de rasurar el pelaje de los animales. Por P8, se entiende el punto, en la imagen ecográfica, de intersección de los músculos *biceps femoris* (superficial) y *gluteus medius* (profundo). Para la obtención de esta imagen, la sonda se posicionó por encima de una línea imaginaria que se puede trazar entre la tuberosidad isquiática y coxal, paralelamente a las vértebras sacras (Figura 21) (Domecq et al., 1995). Una vez identificado el P8 se realizó una captura de imagen. La imagen de la región de estudio debía de contener las siguientes estructuras y en el siguiente orden (de más superficial a más profundo): la piel, la fascia superficial y la fascia profunda del músculo *biceps femoris*, la fascia superficial y profunda del músculo *gluteus medius*, el músculo *biceps femoris* y por último el músculo *gluteus medius*. La valoración de la grasa se efectuó midiendo la distancia entre la piel y la fascia profunda del músculo *biceps femoris* en el P8 (Figura 22).

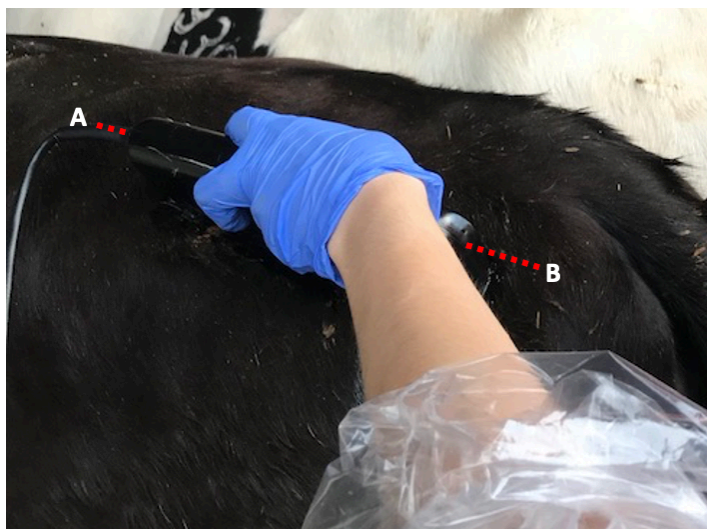
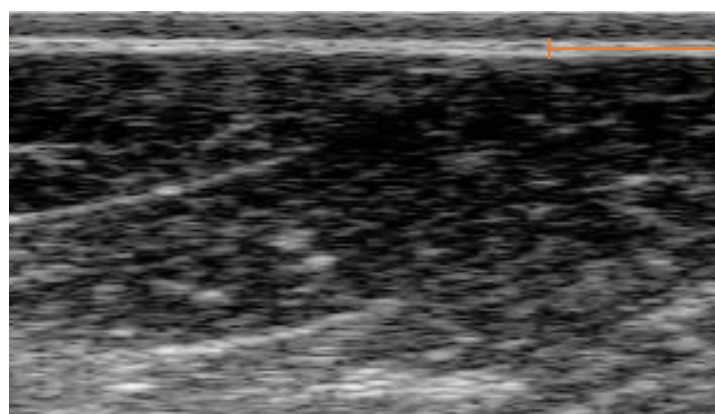


Figura 21: Posicionamiento de la sonda para la realización de la medición de la grasa subcutánea en P8.

La sonda debe posicionarse por encima de la línea imaginaria (línea de guiones roja) que es posible diseñar entre la tuberosidad coxal (A) y la tuberosidad isquiática (B).



Espesor grasa subcutánea

Figura 22: Imagen ecográfica ampliada de la medición de la grasa subcutánea en P8.



3.5. Evaluación de los resultados

Una vez realizadas todas las pruebas se pasó al estudio e interpretación de los resultados.

En cuanto a las variables estudiadas, las primeras a tenerse en cuenta fueron los niveles de progesterona plasmática. Las concentraciones de progesterona plasmáticas mínimas detectables por la prueba de radioinmunoensayo fueron $\geq 0,5$ ngr/mL. Por esta razón, en la hoja de resultados, todos aquellos animales con valores de P4 $< 0,5$ ngr/mL se indicaron con la letra “N”.

A partir de los niveles de progesterona plasmática obtenidos, se dividieron los animales estudiados en dos grupos: “púberes” y “no púberes”. Esta clasificación se fundó en la definición de pubertad propuesta por Jones et al. (1991). Según estos autores, es posible definir como púberes aquellos animales que presentan niveles de P4 plasmática ≥ 1 ngr/mL y como no púberes o pre-púberes todas aquellas novillas con niveles de P4 plasmática < 1 ngr/mL.

La segunda variable estudiada fue la presencia/ausencia de cuerpos lúteos. Esta variable junto con los niveles de progesterona plasmática, fueron los datos que nos permitieron determinar con exactitud si las novillas habían o no alcanzado la etapa de la pubertad.

Además de la presencia/ausencia de los cuerpos lúteos, también se valoraron sus tamaños. Para ello, primero se midió el diámetro de cada una de las estructuras luteales identificadas. La medición se efectuó gracias a la opción “medir distancia” ofrecida por el ecógrafo usado (ExaGo®, IMV Imaging, Francia). En aquellos casos en los cuales un mismo animal presentara dos o más cuerpos lúteos, el tamaño se determinó como la suma de los diámetros de todas las estructuras luteales presentes en sus ovarios. De esta manera, a cada animal en el cual se hubieran detectado estructuras luteales, se le atribuyó un solo tamaño de cuerpo lúteo.

Otra variable que se evaluó fue la presencia/ausencia de folículos. Los resultados acerca de la presencia/ausencia de estructuras foliculares se interpretaron conjuntamente a los resultados acerca de la presencia/ausencia de cuerpos lúteos. El fin de esta valoración fue exclusivamente para determinar si los animales objeto de estudio estaban ciclando de manera regular y para excluir la presencia de cualquier tipo de patología ovárica. Asimismo, la presencia/ausencia de estructuras foliculares no proporcionó informaciones determinantes para el desarrollo de los objetivos propuestos a lo largo del estudio.

Por último, se estudiaron las variables relacionadas con la estimación de la condición corporal de las novillas objeto de la investigación. Entre estas, la primera variable considerada fue la estimación de la condición corporal por medio de una evaluación visual aplicando la puntuación de la escala irlandesa 1-5 (Wildman et al., 1982).



Acerca de la estimación de condición corporal, el BCS “Gold Standard” se encuentra en el rango comprendido entre 3,25 y 4,00 puntos, siendo 3,5 la puntuación óptima para las novillas de esta raza (Elanco Rumensin®, 2004; Kellogg, 2010). A partir de la puntuación de BCS obtenida, las novillas estudiadas se agruparon de la siguiente manera: se definieron como “adecuadas” aquellas que presentaban $3,25 \leq \text{BCS} \leq 4,00$ y como “no adecuadas” si presentaban un BCS inferior a 3,25 o superior a 4,00. Asimismo, entre las novillas que se categorizaron como “adecuadas”, se valoraron también aquellas que tenían un BCS “óptimo”, es decir igual a 3,5.

Las últimas variables estudiadas fueron el espesor de la grasa subcutánea en P8 y por encima del músculo GM.

De la misma manera que las estructuras luteales ováricas, el espesor de la grasa subcutánea se midió con la opción del ecógrafo “medir distancia” (ExaGo®, IMV Imaging, Francia).

En cuanto a los análisis estadísticos llevados a cabo, lo primero que se hizo fue valorar el porcentaje de animales “púberes” y “no púberes”. En seguida se calculó el porcentaje de novillas con o sin cuerpos lúteos. Tales resultados se compararon para determinar si coincidían, es decir si efectivamente todos los animales con niveles de $\text{P4} \geq 1 \text{ ngr/mL}$ tenían uno o más cuerpos lúteos.

A continuación, se valoró el porcentaje de animales con o sin folículos en uno o ambos ovarios.

En cuanto a la valoración de la condición corporal, se calculó el porcentaje de animales con BCS “adecuado”, “no adecuado” y “óptimo”. Asimismo, entre los animales con BCS “adecuado” se calculó el porcentaje de novillas que se habían clasificado como “púberes” y “no púberes”.

Una vez acabados los cálculos de estadística descriptiva, se pasó a la realización de las correlaciones estadísticas. Para ello se llevó a cabo un análisis bivariante mediante el software IBM® SPSS® Statistic, versión 23, con licencia shareware.

En cuanto a las pruebas estadísticas llevadas a cabo, para el análisis de las variables cuantitativas, debido a que todas las variables tenían distribución normal, se realizó la prueba de Pearson.

Para valorar la correlación entre las variables cualitativas, al ser la N del estudio inferior a 30, se realizó la prueba exacta de Fischer.

Por último, para valorar la existencia de una posible correlación entre las variables cualitativas y las cuantitativas se realizó una Análisis de la Varianza (ANOVA).

Para la interpretación de los resultados de los análisis estadísticos se aceptaron como significativos aquellos resultados con valores de $p \leq 0,05$. Aquellos casos en los cuales fue posible



observar una tendencia a la significación ($0,05 < p \leq 0,1$), también se consideraron como resultados significativos.

A lo largo del análisis bivalente, en primer lugar, se valoró la existencia de una correlación entre la variable pubertad y los niveles de progesterona plasmática obtenidos además de la presencia/ausencia de cuerpos lúteos.

Para poder entender mejor la correlación entre estas variables se quiso valorar el papel del tamaño de estos cuerpos lúteos en relación con los niveles de progesterona plasmática detectados.

En seguida se estudió la correlación entre las variables relacionadas con el estado reproductivo de las novillas y aquellas relacionadas con su condición corporal. Por ello se estudió la correlación entre la estimación de la condición corporal de los animales por medio de la evaluación visual aplicando la escala de puntuación irlandesa 1-5 y los niveles de progesterona plasmática, la presencia/ausencia de cuerpos lúteos y el tamaño de estas estructuras luteales.

A continuación se evaluó la correlación entre la pubertad y el condición corporal “adecuada”/“no adecuada” de las novillas objeto de la investigación.

En seguida se estudió la correlación entre los diferentes métodos de determinación de la condición corporal, es decir la evaluación visual de los animales aplicando la escala de puntuación irlandesa 1-5, el espesor de la grasa subcutánea en P8 y por encima del músculo GM.

Por último, se valoró también la relación entre el espesor de la grasa subcutánea en P8 y por encima del músculo GM y las variables relacionadas con el estado reproductivo de los animales objeto de estudio.



4. Resultados

4.1. Resultados pruebas diagnósticas

Fue posible obtener resultados satisfactorios en cada una de las pruebas llevadas a cabo a lo largo del presente estudio (Tabla 3).

Tabla 3: Resultados las pruebas diagnósticas de los animales incluidos en el estudio.

Nº Animal	BCS (1-5)	P8 (mm)	GM (mm)	P4 (ngr/mL)	Ovario		Cuerpos Lúteos (mm)
					Folículos	Cuerpos Lúteos	
939	3,50	3,34	5,02	2,80	SI	SI	15,90
947	4,00	4,18	3,34	3,30	SI	SI	17,20
948	3,50	2,92	2,51	6,90	SI	SI	11,70
938	3,25	5,86	2,93	2,70	SI	SI	13,10
958	3,50	5,45	3,13	3,10	SI	SI	16,20
953	3,75	2,92	3,13	2,40	SI	SI	16,70
961	3,75	2,92	2,10	N	SI	NO	-
956	3,75	2,51	3,97	1,90	SI	SI	19,36
949	3,50	4,18	2,30	1,70	SI	SI	11,00
940	3,50	4,6	2,92	3,90	SI	SI	19,30
954	3,50	2,51	2,51	1,80	SI	SI	9,14
951	3,50	5,43	4,39	3,90	SI	SI	14,90
962	3,25	4,18	1,88	N	SI	NO	-
930	3,50	3,76	3,55	N	SI	NO	-
957	3,75	6,28	1,46	4,60	SI	SI	17,50
955	3,50	3,34	2,51	2,20	SI	SI	14,10
963	3,25	3,76	2,09	N	SI	NO	-
964	3,25	3,34	1,88	N	SI	NO	-
960	2,75	5,03	2,92	N	SI	NO	-
965	3,00	4,60	1,88	1,90	SI	SI	8,09
944	3,50	3,34	2,09	1,90	SI	SI	36,00

N, valores de progesterona iguales o por debajo de 0,5 ngr/mL (valor mínimo detectable por el laboratorio Zooprofilattico Sperimentale della Lombardia e dell'Emilia Romagna); **SI**, presencia de estructuras (folículos/cuerpos lúteos) en uno o ambos ovarios; **NO**, ausencia de estructuras (folículos/cuerpos lúteos) en uno o ambos ovarios; -, ausencia de medición de cuerpos lúteos.



En cuanto a los niveles de progesterona plasmática, no todos los animales presentaron niveles detectables. En particular el 28% de los animales objeto de estudio tenían niveles de P4 < 0,5 ngr/mL. Por lo contrario, en el restante 72% de los animales fue posible detectar niveles de progesterona plasmática $\geq 0,5$ ngr/mL (Figura 23).

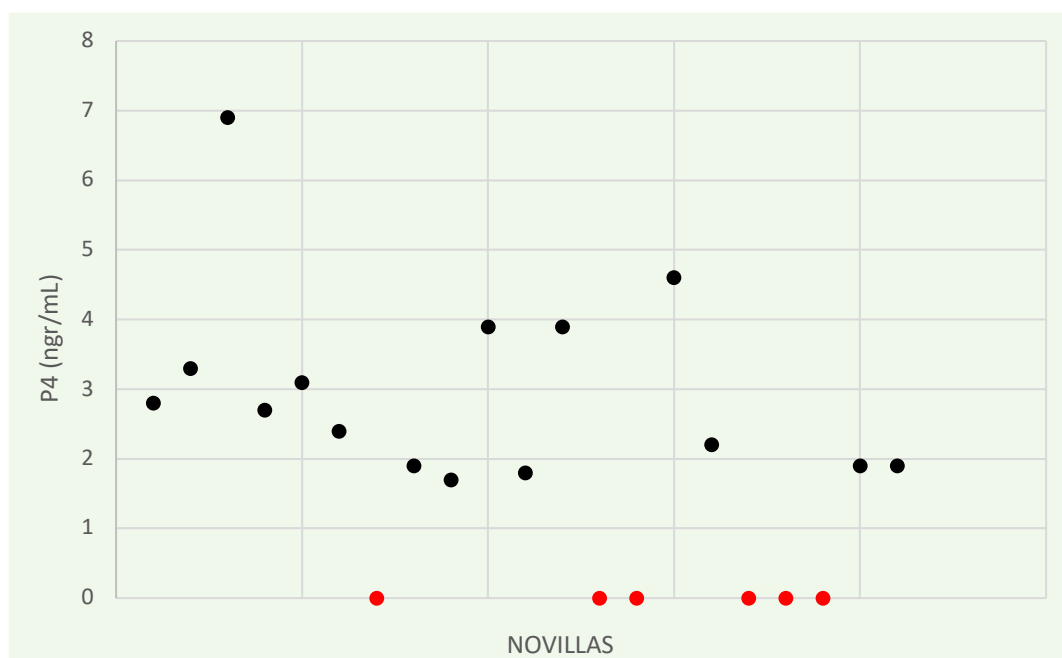


Figura 23: Distribución de los animales objeto de estudio en función de la concentración plasmática de P4.

En rojo se han marcado aquellos animales (28%) en los cuales no fue posible detectar progesterona plasmática ($P4 < 0,5$ ngr/mL).

A partir de los niveles de progesterona plasmática detectados, fue posible determinar que el 72% de las novillas estudiadas había alcanzado la pubertad al momento de la toma de los datos, mientras que el restante 28% presentaba concentraciones de $P4 < 1$ ngr/mL (Tabla 4).

Tabla 4: Niveles de P4 en novillas y su relación con la pubertad.

	Animales	% Animales
Púberes ($P4 \geq 1$ ngr/mL)	15	72%
No púberes ($P4 < 1$ ngr/mL)	6	28%



En cuanto a las estructuras presentes en los ovarios de las novillas estudiadas, el 72% presentaban uno o más cuerpos lúteos en sus ovarios. Por lo contrario, el 28% de los animales no presentó ninguna estructura luteal (Tabla 5).

Tabla 5: Determinación de cuerpos lúteos en novillas mediante ultrasonografía.

	Animales	% Animales
Con cuerpo lúteo	15	72%
Sin cuerpo lúteo	6	28%

Valorando la variable pubertad juntamente con la presencia/ausencia de cuerpos lúteos, fue posibles confirmar que todos aquellos animales (100%) que se habían definido como “púberes” presentaban una o varias estructuras luteales en sus ovarios. Por lo contrario, las novillas “no púberes” no tenían ningún cuerpo lúteo (Tabla 6). Valorando la presencia de uno o más cuerpos lúteos en los ovarios de las novillas que se definieron “púberes”, se pudo confirmar que esos animales realmente habían alcanzado esta etapa. De la misma manera se pudo confirmar que aquellos animales que no presentaron cuerpos lúteos en sus ovarios tampoco presentaban niveles de progesterona plasmática ≥ 1 ngr/mL.

Además de la presencia/ausencia de los cuerpos lúteos, también se valoró su tamaño (Figura 24 y Tabla 6).



Tabla 6: Niveles de progesterona plasmática, presencia y tamaños cuerpos lúteos en novillas.

Nº Animal	P4 (ngr/mL)	Púber (P4 ≥ 1 ngr/mL)	Cuerpos lúteos Ovario Derecho (mm)		Cuerpos lúteos Ovario Izquierdo (mm)		Tamaño Total Cuerpos lúteos (mm)
939	2,80	Púber	NO	-	SI	15,90	15,90
947	3,30	Púber	NO	-	SI	17,20	17,20
948	6,90	Púber	NO	-	SI	11,20	11,20
938	2,70	Púber	NO	-	SI	13,10	13,10
958	3,10	Púber	NO	-	SI	16,20	16,20
953	2,40	Púber	NO	-	SI	16,70	16,70
961	N	No Púber	NO	-	NO	-	-
956	1,90	Púber	SI	8,36	SI	11	19,36
949	1,70	Púber	NO	-	SI	11,00	11,00
940	3,90	Púber	SI	19,30	NO	-	19,30
954	1,80	Púber	SI	9,14	NO	-	9,14
951	3,90	Púber	NO	-	SI	14,90	14,90
962	N	No Púber	NO	-	NO	-	-
930	N	No Púber	NO	-	NO	-	-
957	4,60	Púber	NO	-	SI	17,50	17,50
955	2,20	Púber	NO	-	SI	14,10	14,10
963	N	No Púber	NO	-	NO	-	-
964	N	No Púber	NO	-	NO	-	-
960	N	No Púber	NO	-	NO	-	-
965	1,90	Púber	SI	8,09	NO	-	8,09
944	1,90	Púber	SI	10,40	SI	25,60	36,00

N, valores de progesterona plasmática inferiores a 0,5 ngr/mL; **SI**, presencia de estructuras cuerpos lúteos; **NO**, ausencia de folículos/cuerpos lúteos; -, ausencia de medición de cuerpos lúteos.

En rojo se han marcado aquellos animales (28%) que no han alcanzado la etapa de pubertad ya que no presentaron ningún cuerpo lúteo en sus ovarios y sus niveles de progesterona plasmática se encuentran por debajo de 1 ngr/mL.

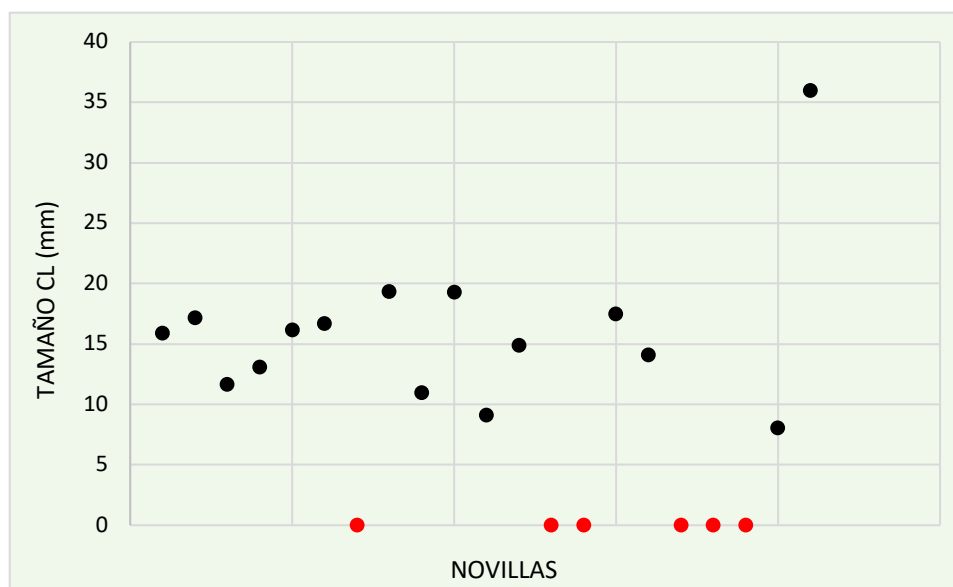


Figura 24: Distribución de los animales objeto de estudio en función del tamaño de los cuerpos lúteos presentes en los ovarios.

En rojo se han marcado aquellos animales (28%) que no presentaron ningún cuerpo lúteo en sus ovarios.

En cuanto a la presencia/ausencia de folículos, el 100% de los animales presentaron uno o varias estructuras foliculares en sus ovarios (Tabla 7 y Figura 25). La presencia de folículos en los ovarios de las novillas, analizada juntamente con la presencia de cuerpos lúteos, permitió concluir que los animales objeto de estudio estaban ciclando de manera regular y que no presentaban patologías ováricas.

Tabla 7: Determinación ultrasonográfica de estructuras foliculares en ambos ovarios.

	Animales	% Animales
Con folículos	21	100%
Sin folículos	0	0%

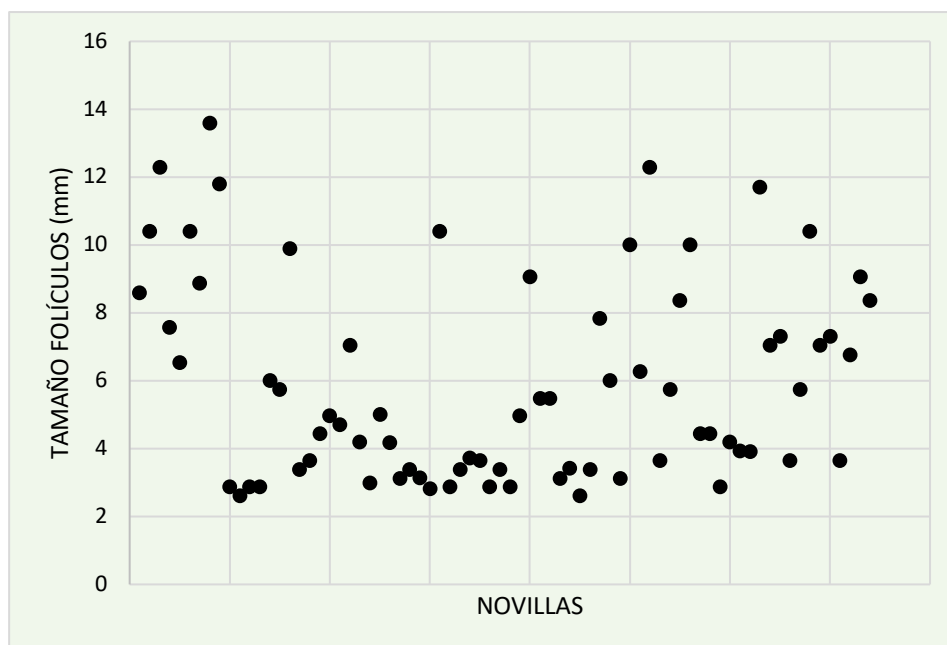


Figura 25: Distribución de los animales objeto de estudio en función de los tamaños de los folículos.

En el presente estudio el 90% de los animales presentaban una condición corporal “adecuada” es decir comprendida en el rango entre 3,25 y 4,00 puntos. De este 90%, el 53% de los animales, presentaban un BCS óptimo equivalente a 3,5 puntos.

Por lo contrario, el 10% de las novillas del estudio se encontraban en una condición corporal “no adecuada”, en partícula, su BCS se clasificó por debajo de 3,25 (Figura 26 y Tabla 8).

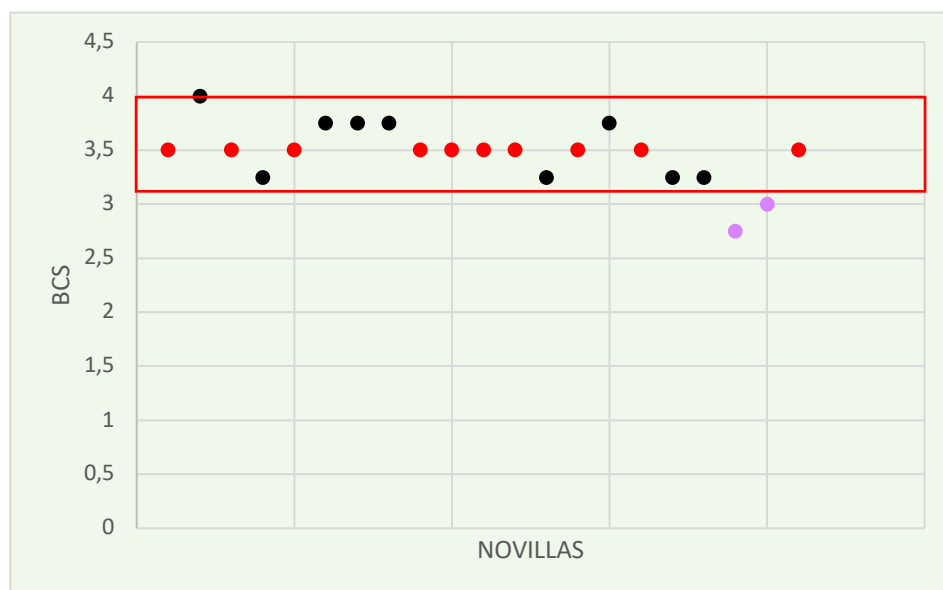


Figura 26: Distribución de los animales en función de la condición corporal estimada mediante el uso de la escala de evaluación irlandesa 1-5 (Wildman et al., 1982).

En recuadro color rojo se ha marcado el “Gold Standard” acerca del BCS de las novillas de raza Holstein Friesian según el cual $3,25 \leq \text{BCS} \leq 4,00$. En este rango se encuentra el 90% de los animales estudiados. Entre ellos se han evidenciado con los puntos rojos aquellos que presentaban BCS óptimo equivalente a 3,5 puntos (53% de las novillas con BCS “adecuado”). Los puntos morados representan el 10% de los animales, es decir aquellos con un BCS “no adecuado” ya que estaba $< 3,25$ puntos.

Tabla 8: Clasificación del BCS en novillas valorado mediante la escala de puntuación irlandesa 1-5 (Wildman et al., 1982).

	Animales	% Animales
BCS “adecuado”	19	90%
BCS “no adecuado”	2	10%

Valorando la variable pubertad conjuntamente con el estado “adecuado”/“no adecuado” de la condición corporal (Tabla 9), se vio que el 66% de los animales tenía un BCS “adecuado” y habían alcanzado la etapa de pubertad. Por lo contrario, entre los animales con BCS “no adecuado”, solo el 5% se categorizó como “púber”.



Tabla 9: Relación entre el BCS evaluado visualmente y la pubertad evaluada mediante niveles de P4 en novillas.

	Pubertad	
	P4 \geq 1 ngr/mL	P4 < 1 ngr/mL
% animales BCS “adecuado”	66%	24%
% animales BCS “no adecuado”	5%	5%

La valoración de la condición corporal de las novillas también se llevó a cabo a través de la técnica ultrasonográfica. Para ello, se efectuaron dos ecografías en cada animal y se midió el espesor de la grasa subcutánea en P8 (Figura 27) y por encima del músculo GM (Figura 28).

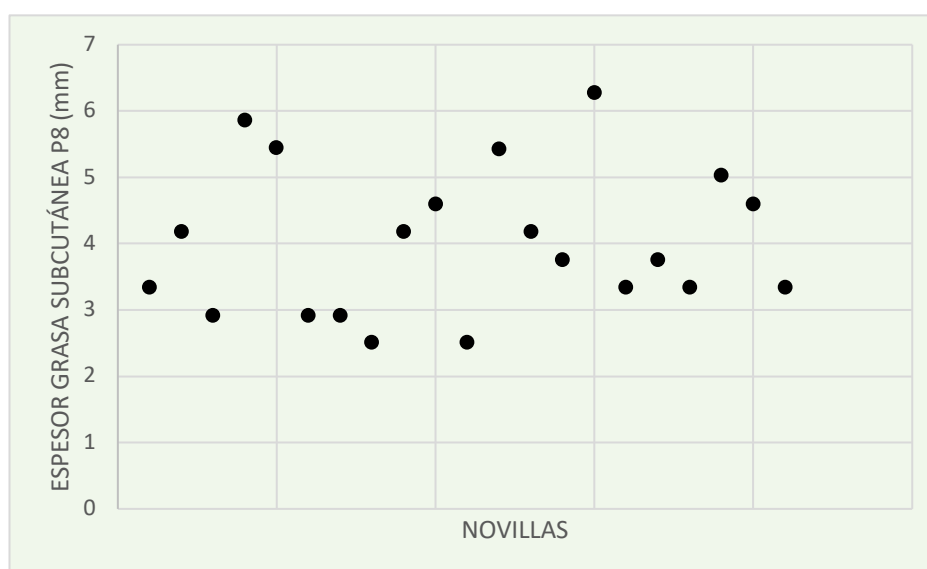


Figura 27: Distribución de los animales objeto de estudio en función del espesor de la grasa subcutánea en P8.

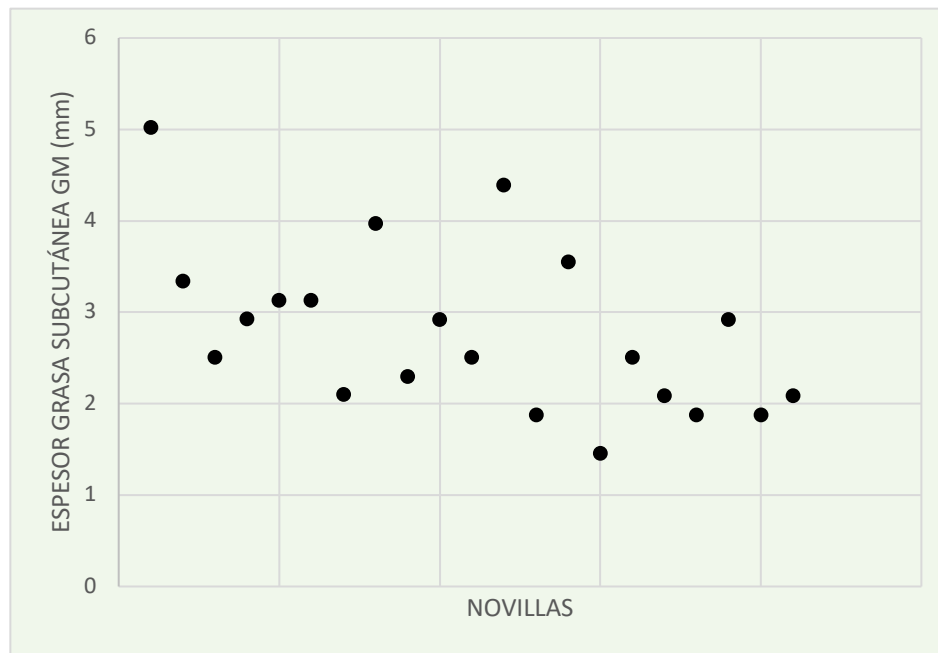


Figura 28: Distribución de los animales objeto de estudio en función de la grasa subcutánea encima del músculo *gluteus medius*.

4.2. Asociación entre las variables estudiadas

Los resultados obtenidos tras el análisis estadístico realizado indicaron que la medición de los niveles de progesterona plasmática tiene valor predictivo ($p = 0,000$) para determinar si una novilla ha o no alcanzado la pubertad.

Esta afirmación se confirmó gracias a la existencia de una correlación positiva entre los niveles de progesterona plasmática de las novillas objeto de estudio y la presencia de uno o más cuerpos lúteos en los ovarios de estos animales ($p = 0,000$). Todas aquellas novillas que se definieron como púberes ($P4 \geq 1$ ngr/mL) presentaron uno o más cuerpos lúteos en sus ovarios (Tabla 10).

Para poder entender mejor el papel del cuerpo lúteo en cuanto a los niveles de progesterona plasmática, se valoró la relación entre estos y el tamaño de las estructuras luteales. Los resultados estadísticos confirmaron la existencia de una correlación positiva ($p = 0,006$) también entre estas variables (los niveles de progesterona plasmática y el tamaño de los cuerpos lúteos).



Tabla 10: Correlación entre pubertad y presencia/ausencia de cuerpos lúteos.

		Pubertad	
		P4 \geq 1 ngr/mL	P4 < 1 ngr/mL
Cuerpos lúteos	Presencia en ambos ovarios	2	0
	Presencia en un solo ovario	13	0
	Ausencia en ambos ovarios	0	6
Significancia		0,000*	

* La correlación es significativa a nivel 0,05.

Valorando la correlación entre los niveles de progesterona plasmática y los métodos usados para la valoración de la condición corporal de las novillas objeto de estudio (evaluación visual y ecográficas), fue posible observar la existencia de correlación positiva solo con algunas de las técnicas usadas. En particular fue posible observar una correlación positiva ($p = 0,086$) entre la valoración del BCS por medio de la evaluación visual con la escala de puntuación irlandesa 1-5 y los niveles de P4 plasmática.

Además, el BCS valorado de manera visual también se correlacionó positivamente con la presencia de cuerpos lúteos en los ovarios de los animales ($p = 0,070$) (Tabla 11) y con el tamaño de estas estructuras luteales ($p = 0,038$) (Tabla 12).

Tabla 11: Correlación entre presencia/ausencia de cuerpos lúteos y la condición corporal evaluada visualmente mediante la escala irlandesa 1-5 (BCS).

		Cuerpo Lúteo		
		Presencia en ambos ovarios	Presencia en un solo ovario	Ausencia en ambos ovarios
BCS	Adecuado	2	11	2
	No adecuado	0	2	4
Significancia		0,070**		

** La correlación es significativa a nivel 0,1.



Tabla 12: Correlación entre la evaluación de la condición corporal estimada visualmente mediante la escala irlandesa 1-5 (BCS) y el tamaño de los cuerpos lúteos (TCL).

		Tamaño medio cuerpos lúteos (mm)
BCS	Adecuado	3,52
	No adecuado	2,85
Significancia ($p \leq 0,1$)		0,038*

* La correlación es significativa a nivel 0,05.

Valorando la variable pubertad conjuntamente con el estado “adecuado”/“no adecuado” de la condición corporal (Tabla 13), fue posible demostrar la existencia de una correlación positiva ($p = 0,015$) entre estas.

Tabla 13: Correlación entre la pubertad y el BCS evaluado visualmente mediante la escala irlandesa 1-5.

		Pubertad	
		$P4 \geq 1 \text{ ngr/mL}$	$P4 < 1 \text{ ngr/mL}$
BCS	Adecuado	14	5
	No adecuado	1	1
Significancia		0,015*	

* La correlación es significativa a nivel 0,05.

Confrontando los resultados de los diferentes métodos de estimación de la condición corporal (Figura 29), es decir la evaluación visual de la condición corporal y la medición ecográfica del espesor de la grasa subcutánea en P8 y por encima del músculo GM, no fue posible observar la existencia de ninguna correlación positiva entre las variables (Tabla 14).

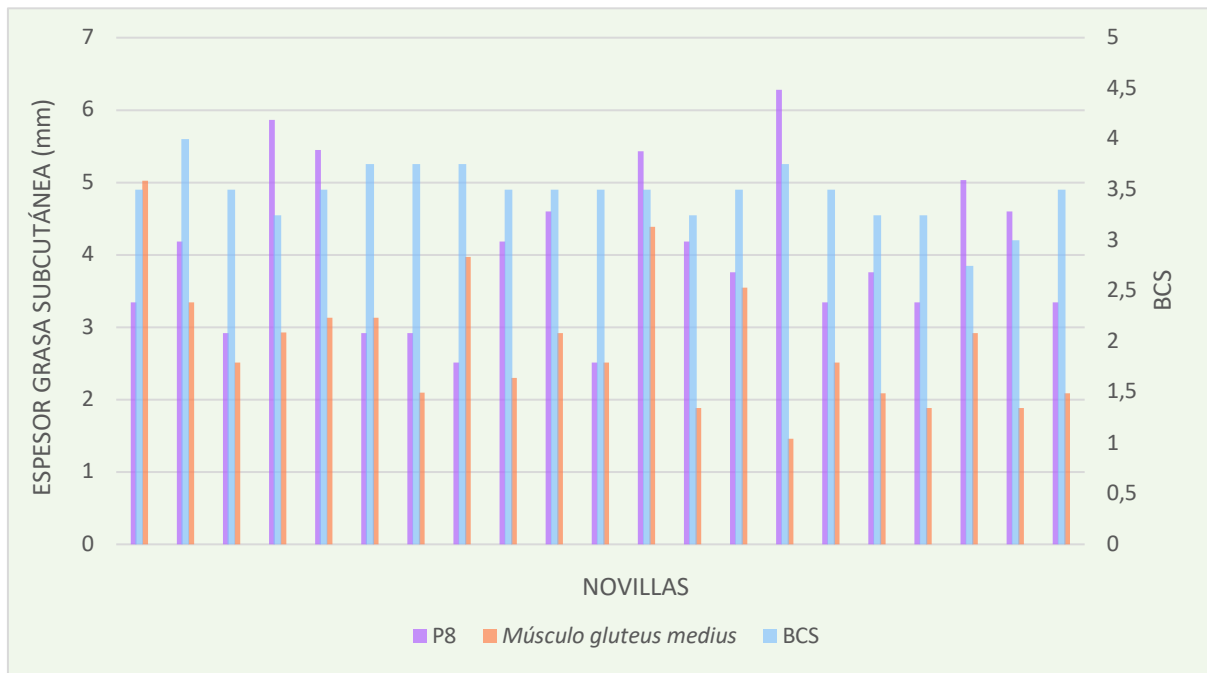


Figura 29: Resultados obtenidos en la valoración de la condición corporal estimada visualmente mediante la escala irlandesa 1-5 (BCS), mediante la medición del espesor de la grasa subcutánea en P8 y encima del músculo gluteus medius.

En la siguiente grafica se han reportado en color morado los valores de espesor de la grasa subcutánea (mm) medidos en P8, en color naranja los valores de espesor de la grasa subcutánea (mm) medidos encima del músculo gluteus medius y con color azul las puntuaciones obtenidas midiendo la condición corporal de las novillas de forma visual con la escala de irlandesa 1-5.

Tabla 14: Correlación entre la condición corporal evaluada visualmente mediante la escala irlandesa 1-5 (BCS) y el espesor de la grasa subcutánea en P8, y encima del músculo gluteus medius (GM)

	BCS	P8	GM
BCS		0,255***	0,338***
P8	0,225***		0,767***
GM	0,338***	0,767***	

*** La correlación no es significativa.

Tampoco se observó correlación entre las variables relacionadas con el estado reproductivo de las novillas estudiadas (niveles de P4 plasmática, pubertad y tamaño de los cuerpos lúteos) y la valoración de la condición corporal por medio de la medición del espesor de la grasa subcutánea en P8 y por encima del músculo GM (Tabla 15).



Tabla 15: Correlación entre el espesor de la grasa subcutánea en P8 y encima del músculo gluteus medius (GM) y los niveles de P4 plasmática, la pubertad y el tamaño de los cuerpos lúteos (TCL).

	P4	Pubertad	TCL
P8	0,335***	0,631***	0,854***
GM	0,396***	0,228***	0,331***

*** La correlación no es significativa.





5. Discusión

En las explotaciones de vacuno lechero modernas, la recría representa la futura rentabilidad de estas empresas. Para asegurar que el futuro productivo y reproductivo de estos animales sea óptimo, es necesario cuidar cada aspecto de su vida desde sus edades más tempranas (Tozer y Heinrichs, 2001; Ettema y Santos, 2004). Entre ellos destaca por importancia la pubertad, es decir el momento en el que las bovinas empiezan a ser reproductivamente activas (Robinson y Shelton, 1991). Este evento parece tener mucha relación con el estado energético de los animales, por ello es fundamental conseguir animales con una condición corporal óptima al momento de la primera inseminación. Solo así podrán llevar a cabo la gestación con suceso y ser capaces de otorgar una lactancia profícuca (Tozer y Heinrichs, 2001; Ettema y Santos, 2004; Macdonald et al., 2007) (Anexo IV).

En el presente estudio, la relevancia de la determinación del estado energético de los *Bos taurus* de raza Holstein Friesian se quiso enfocar a un momento bien determinado de su vida reproductiva, es decir en la pubertad.

La pubertad según Robinson y Shelton (1991) se define como aquel momento fisiológico de la vida de las novillas en el cual estas adquieren la capacidad de reproducirse. De forma más objetiva, se habla de pubertad cuando la concentración plasmática de la progesterona en estos animales alcanza niveles iguales o superiores a 1 ngr/mL (Moran et al., 1989; Jones et al., 1991).

Esta última afirmación, en el presente estudio se ve confirmada por los resultados estadísticos obtenidos.

Estudiando la correlación entre la presencia de cuerpo lúteo y los niveles de progesterona plasmática de las 21 novillas de raza Holstein Friesian incluidas en la investigación, se vio que aquellos animales que presentaban cuerpo lúteo tenían concentraciones plasmáticas de progesterona más elevadas ($p = 0,000$). En particular la progesterona de estos animales estaba en niveles ≥ 1 ngr/mL y por ello estos animales se definieron como púberes.

Con el fin de valorar un poco más el papel del cuerpo lúteo en este momento reproductivo de la vida de estos animales, se quiso estudiar la correlación entre el tamaño del cuerpo lúteo y los niveles de progesterona plasmática. A partir de los resultados obtenidos fue posible afirmar que existe una correlación positiva entre estas dos variables ($p = 0,006$). En particular se vio como aquellos animales que tenían niveles de progesterona por encima de 1 ngr/mL y que por ello se definían como púberes, eran también aquellos que tenían cuerpos lúteos de mayor tamaño ($p = 0,000$).

Estas observaciones coinciden con los estudios de Assey et al. (1993) y de Mann (2009) quienes afirman la existencia de una correlación positiva entre los niveles de progesterona



plasmática y el tamaño del cuerpo lúteo. Además, estos autores, subrayan la posibilidad de que esta relación pueda ser aún más marcada en novillas ($p < 0,001$ con respecto a $p < 0,01$ obtenido en vacas).

En cuanto a los factores implicados en el desarrollo de la pubertad, son muchos y, hoy en día, no quedan del todo explicados. Entre ellos, uno de los elementos que parece tener mayor importancia es el BCS, es decir el estado energético de los sujetos (Estill, 2015; Heryani et al., 2019).

El Body Condition Score (BCS) es una estimación del estado energético de los animales, es decir una valoración indirecta de la cantidad de energía metabolizable que los sujetos poseen almacenada en forma de grasa y en la masa muscular (Macdonald y Roche, 2004). Existen diferentes métodos, más o menos tecnológicos, para cuantificar el BCS de las bovinas.

La relación entre el BCS y el desarrollo de la pubertad se ve confirmada gracias a los estudios llevados a cabo acerca del papel de las leptinas. Estas hormonas representarían un puente que comunica las disponibilidades energéticas y las actividades reproductivas de las vacas *Bos taurus* (Williams et al., 2002; Amstalden, 2003).

Archbold et al. (2012) realizaron un estudio con 871 novillas de raza Holstein Friesian y valoraron si efectivamente el BCS tenía alguna relación con el advenir de la pubertad en estos animales. Archbold et al. (2012) en su investigación estimaron el BCS de forma visual mediante una puntuación 1-5. Al final del estudio concluyeron que el BCS estaba significativamente relacionado con la pubertad.

Hoy en día, una de las herramientas más conocidas en las explotaciones lecheras para valorar el BCS de los animales es la evaluación visual. Existen diferentes escalas de puntuación, pero en las vacas de raza Holstein Friesian del sur de Europa una de las más usadas es la escala irlandesa 1-5. Esta última, además del examen visual de los sujetos estudiados implica también la palpación de algunos salientes óseos (Wildman et al., 1982). Sin embargo, la estimación del BCS mediante observación/palpación representa una valoración muy subjetiva que podría verse influenciada por el mismo personal que la lleva a cabo.

Ferguson et al. (1994) realizaron un estudio con 225 vacas en lactación de raza Holstein Friesian que fueron evaluada de manera visual por cuatro diferentes observadores: tres expertos y uno menos experto. Ferguson et al. (1994) concluyeron que sí que existe una relación entre la eficiencia de la evaluación de los animales y el grado de experiencia del personal que la lleva a cabo. De esta manera, estos científicos, sugirieron la necesidad de métodos más objetivos para la evaluación del BCS.



En el presente estudio, se valoró la relación entre la estimación del BCS mediante la evaluación con la escala irlandesa 1-5 (Wildman et al., 1982) y los niveles de progesterona plasmática de los sujetos incluidos en la investigación. Los resultados obtenidos indican la existencia de una tendencia positiva a la significación ($p = 0,086$) entre estas variables. Además, también se observó una tendencia positiva a la significación ($p = 0,070$) entre la evaluación visual BCS con respecto la condición púber de los animales ($P4 > 1$ ngr/mL) y una significación positiva ($p = 0,038$) con respecto al tamaño de estas estructuras luteales.

Los resultados del presente estudio permiten afirmar que existe una correlación entre la valoración visual de la disponibilidad energética de las novillas de raza Holstein Friesian y su estado reproductivo (pubertad) sin embargo esta correlación solo tiende a la significación.

Comparando los resultados del presente estudio con los obtenidos por Archbold et al. (2012) cabe la posibilidad de que la falta de una marcada significación entre las variables se deba al número reducido de animales incluidos en la investigación. Aun así, no se debe descartar la posibilidad de que esta tendencia a la significación pueda deberse a la técnica usada para la estimación de la condición corporal de las novillas ya que la estimación visual, según varios autores, es una técnica subjetiva (Ferguson et al., 1994; Paul et al., 2020).

Como se ha comentado, entre los pilares del presente trabajo, encontramos los estudios que demuestran que el estado energético de las novillas influencia en la capacidad de estos animales de alcanzar la etapa de la pubertad (Williams et al., 2002; Amstalden, 2003; Archbold et al., 2012). Archbold et al. (2012) no se limitaron a estudiar esta correlación, sino que demostraron que aquellos animales con BCS bajos tenían tasas de pubertad inferiores con respecto a los animales con BCS adecuados (54-68% con respecto al 81-85% en los animales con $BCS \geq 3,25$). Las afirmaciones de estos científicos coinciden con los resultados obtenidos en la presente investigación. Confrontando la estimación del BCS mediante la evaluación con la escala irlandesa 1-5 (Wildman et al., 1982) con respecto a las tasas de pubertad, se vio que la tasa de pubertad de los animales con BCS adecuado era del 66%. Por lo contrario, en los animales con BCS no adecuado solo alcanzaba el 5%.

La explicación científica teórica de estos resultados reside en las investigaciones de Williams et al. (2002) y Amstalden (2003) entre otros, sobre el papel de las leptinas en el desarrollo de la actividad reproductiva en esta especie.

Otro método muy conocido en producción de razas de aptitud cárnica pero aún poco usado en vacas lecheras, es la estimación del estado energético de los animales mediante el uso de los ultrasonidos.

El espesor de la grasa subcutánea representa el mejor indicador de la condición corporal de los animales y por ello de su estado nutricional (Brethour, 1992). En particular, en las vacas



Holstein Friesian, la grasa encima de la cadera parece ser la que más correlación positiva guarda con el BCS (Raschka et al., 2016). La medición del espesor de la grasa subcutánea en la región de la cadera, como por ejemplo en P8 y encima del músculo GM, parece ser la localización que mayor correlación positiva guarda con respecto a la condición corporal de los animales a lo largo de su ciclo productivo (Brethour, 1992; Raschka et al., 2016).

En cuanto a la relación entre el método ecográfico y el visual, Domecq et al. (1995) realizaron un estudio con 50 vacas de raza Holstein Friesian en el cual observaron las diferencias entre la estimación de la condición corporal de los animales mediante el uso de una escala de valoración visual 1-5 y mediante el uso de la ecografía de la grasa subcutánea en la zona lumbar, encima de la cadera y en la base de la cola. A partir de los resultados obtenidos, concluyeron que existe una correlación positiva significativa entre estos métodos de cuantificación de las reservas energéticas de los animales. Además, afirmaron que la valoración visual mediante escala numérica es tan válida como la estimación ultrasonográfica.

Schröder y Staufenbiel (2006) contrastaron las afirmaciones de Domecq et al. (1995) subrayando el hecho que su estudio se basaba en la observación de tan solo 50 animales. Además, se empeñaron en demostrar que la medición ecográfica del espesor de la grasa subcutánea representa el método más objetivo y preciso para estimar el BCS de los animales. Para ello Schröder y Staufenbiel (2006) reportaron los datos de Brethour (1992). Brethour (1992) determinó el espesor de la grasa subcutánea en 217 vacas y su relación con el espesor de tal grasa en las canales de los mismos animales. Gracias a este estudio Brethour (1992) demostró la fuerte correlación positiva existente entre la estimación ecográfica del BCS y las efectivas reservas energéticas presentes en forma de depósitos de grasa en las vacas.

Los resultados obtenidos a partir de las mediciones llevadas a cabo en las 21 novillas de raza Holstein Friesian objeto del presente estudio, informan que no existe correlación entre las mediciones ecográficas realizadas y la estimación del BCS llevada a cabo mediante la evaluación visual. Asimismo, tampoco parece existir correlación entre las mediciones ecográficas realizadas en las dos diferentes localizaciones de la cadera, es decir en P8 y por encima del músculo GM.

Estos resultados contrastarían con las afirmaciones de Schröder y Staufenbiel (2006) sobre la base de los datos obtenidos por Brethour (1992).

En el presente estudio, una de las probables razones por las cuales no fue posible obtener resultados similares a los reportados por Schröder y Staufenbiel (2006), haya sido el reducido número de animales objeto de estudio. Asimismo, se debe de tener en cuenta que Brethour (1992) realizó su investigación en 217 vacas de aptitud carnicas. Estos animales tienen un depósito de grasa subcutánea mucho más importante con respecto a los que normalmente se observan en las vacas de raza Holstein Friesian. En particular, los resultados del espesor de grasa



subcutánea obtenidos por Brethour (1992) en los 217 animales se pueden agrupar en un intervalo entre 2,5 hasta 20 mm, siendo el valor medio en novillas igual a 13,6 mm. Por lo contrario, ninguna de las novillas del presente estudio alcanzó mediciones por encima de 6,28 mm. De esta manera, se entiende que el escaso espesor de los depósitos de grasa subcutánea en los animales de raza Holstein Friesian haría su medición ecográfica más complicada con respecto a las que efectuaríamos en animales de razas cárnicas y por ello aumentaría la probabilidad de error.

Al no existir correlación entre las dos diferentes técnicas de medición de la grasa subcutánea de cadera, no fue posible valorar la posibilidad de que, en vacas de raza Holstein Friesian, fuese posible utilizar la sonda endocavitaria linear de 11 cm y 7,5 MHz en lugar de la sonda linear de 17 cm y 3,5 MHz para la realización de esta técnica.

Hussein et al. (2013) estudiaron la validez de la medición ecográfica del espesor de la grasa subcutánea de cadera con respecto a la valoración visual con una escala de puntuación 1-5 en 1123 multíparas de raza Holstein Friesian. Durante la investigación, Hussein et al. (2013) usaron una sonda linear endocavitaria de 5 MHz. Los resultados que obtuvieron confirman la validez de la técnica ecográfica para estimar de la condición corporal de estos animales. Además, el hecho de que para su investigación Hussein et al. (2013) hayan usado una sonda de tipo linear endocavitaria, permite afirmar que este transductor es adecuado para la medición del espesor de la grasa de cadera en bovinas de raza Holstein Friesian.

Los datos obtenidos por Hussein et al. (2013) están respaldados, además, por los fundamentos físicos sobre los cuales se basa la técnica ecográfica. Las vacas de raza Holstein Friesian, en general, tienen un espesor de grasa subcutánea inferior con respecto a las vacas de razas cárnicas. Por ello, es lógico pensar que para obtener imágenes ecográficas adecuadas para la medición del BFT podría ser suficiente la profundidad de imagen que nos ofrece una sonda linear endocavitaria de 7,5 MHz. De esta manera no sería necesario adquirir sondas con menor frecuencia y que alcancen mayores profundidades como en el caso de la sonda linear de 3,5 MHz (Ginther, 1995a).

El contraste entre los resultados obtenidos por Hussein et al. (2013) y los observados en el presente estudio en cuanto a la validez de la técnica ecográfica y al uso de una sonda endocavitaria linear para su realización, podría deberse al reducido número de animales objeto del presente estudio.

En cuanto a la valoración del BCS por medio de medición ecográfica de la grasa subcutánea en P8 y encima del músculo GM para la determinación de la pubertad en novillas, no hay estudios con los cuales poder comparar los resultados obtenidos en la presente investigación en



vacuno de aptitud lechera y tampoco en vacuno de aptitud cárnica (Ferrario, J. D., 12 mayo 2021).

A partir de las mediciones llevadas a cabo en los animales estudiados, es posible afirmar que no existe correlación entre los niveles de progesterona plasmática y las mediciones ecográficas realizadas en P8 y encima del músculo GM. De la misma manera, tampoco se observa correlación entre tales mediciones y la etapa de pubertad ($P4 > 1 \text{ ngr/mL}$). Tales resultados no nos permiten acreditar la medición ecográfica de la grasa subcutánea como un método predictor del estado reproductivo de las novillas. Sin embargo, estas conclusiones puede que se deban al reducido número de novillas incluidas en la prueba.

Es posible que sea necesaria más investigación acerca de este tema ya que existen numerosos estudios, entre los cuales se encuentra la presente investigación, que demuestran la relación que existe entre la pubertad y la condición corporal de las novillas de raza Holstein Friesian (Vernon y Houseknecht, 2000; Williams et al., 2002; Amstalden, 2003; Archbold et al., 2012; Estill, 2015; Heryani et al., 2019). Asimismo, existen numerosas investigaciones que afirman que la prueba diagnóstica más objetiva y exacta para estimar el estado energético en estos animales es la medición del espesor de la grasa subcutánea mediante ultrasonografía (en particular de la grasa presente en la zona de la cadera) (Brethour, 1992; Klawuhn, 1992; Ferguson et al., 1994; Domecq et al., 1995; Realini et al., 2001; Schröder y Staufienbiel, 2006; Johnston et al., 2009; Joshi y Herdt, 2009; Hussein et al., 2013; Raschka et al., 2016; Paul et al., 2020). Por estas razones es lógico pensar que, por medio de una investigación planteada de manera parecida a la presente pero que incluya un número de animales mucho más grande, sería posible demostrar la existencia de una correlación positiva entre estas variables. Asimismo, se podría comprobar el valor predictivo de la medición del espesor de la grasa subcutánea para determinar si los animales se encuentran en una condición energética óptima para alcanzar la pubertad.



6. Conclusiones

Las conclusiones del presente trabajo son:

1. La medición de los niveles de progesterona plasmática junto con la presencia de cuerpos lúteos en uno o ambos ovarios tienen elevado valor predictivo para determinar si las novillas estudiadas han alcanzado la pubertad.
2. El tamaño del cuerpo lúteo guarda una relación positiva con los niveles de progesterona plasmática de los individuos evaluados.
3. La estimación de la condición corporal de los animales mediante una evaluación visual con puntuación irlandesa 1-5, guarda asociación positiva con la concentración de progesterona plasmática de los sujetos estudiados.
4. La evaluación visual de la condición corporal mediante la puntuación irlandesa 1-5, resulta ser un método que puede tener valor predictivo para determinar si las novillas estudiadas han alcanzado la pubertad.
5. En los animales objeto de estudio, no existe correlación entre la estimación de la condición corporal de los individuos mediante una evaluación visual con puntuación irlandesa 1-5, la medición del espesor de la grasa subcutánea en P8 y por encima del músculo GM.
6. La falta de correlación entre las técnicas de medición del espesor de la grasa subcutánea no permite confirmar la posibilidad de usar una sonda linear endocavitaria de 7,5 MHz para la realización de mediciones ecográficas del espesor del BFT en los animales estudiados.
7. Las mediciones ecográficas del espesor del BFT no guardan asociación con los niveles de progesterona plasmática de los animales y la presencia/ausencia de cuerpos lúteos en sus ovarios. Por ello, no tienen valor predictivo para determinar si las novillas estudiadas han alcanzado la pubertad.





7. Bibliografía

- 1) Adams, G. P., Jaiswal, R., Singh, J., y Malhi, P. (2008). Progress in understanding ovarian follicular dynamics in cattle. *Theriogenology*, 69(1), 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.09.026>
- 2) Ahmad, N., Townsend, E. C., Dailey, R. A., y Inskeep, E. K. (1997). Relationships of hormonal patterns and fertility to occurrence of two or three waves of ovarian follicles, before and after breeding, in beef cows and heifers. *Animal Reproduction Science*, 49(1), 13-28. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(97\)00057-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(97)00057-2)
- 3) Amstalden, M. (2003). *Role of Leptin in Regulating the Bovine Hypothalamic-Gonadotropic Axis* (Tesis Doctoral). Recuperada de <http://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/507>.
- 4) Amstalden, M. y Williams, G. L. (2015). Neuroendocrine Control of Estrus y Ovulation. En Hopper, R. M. (Ed.). *Bovine reproduction*. Ames, Iowa: John Wiley & Sons Inc.
- 5) Archbold, H., Shalloo, L., Kennedy, E., Pierce, K. M. y Buckley, F. (2012). Influence of age, body weight and body condition score before mating start date on the pubertal rate of maiden Holstein–Friesian heifers and implications for subsequent cow performance and profitability. *Animal*, 6(7), 1143-1151. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002692>
- 6) Assey, R. J., Purwantara, B., Greve, T., Hyttel, P., y Schmidt, M. H. (1993). Corpus luteum size and plasma progesterone levels in cattle after cloprostenol-induced luteolysis. *Theriogenology*, 39(6), 1321-1330. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(93\)90234-V](https://doi.org/10.1016/0093-691X(93)90234-V)
- 7) Atkins, J. A., Pohler, K. G. y Smith, M. F. (2013). Physiology and Endocrinology of Puberty in Heifers. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 29(3), 479-492. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2013.07.008>
- 8) Bercovich, A., Edan, Y., Alchanatis, V., Moallem, U., Parmet, Y., Honig, H., Maltz, E., Antler, A. y Halachmi, I. (2013). Development of an automatic cow body condition scoring using body shape signature and Fourier descriptors. *Journal of Dairy Science*, 96(12), 8047-8059. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6568>
- 9) Brethour, J. R. (1992). The repeatability and accuracy of ultrasound in measuring backfat of cattle. *Journal of Animal Science*, 70(4), 1039-1044. <https://doi.org/10.2527/1992.7041039x>
- 10) Broring, N., Wilton, J. W. y Colucci, P. E. (2003). Body condition score and its relationship to ultrasound backfat measurements in beef cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 83(3), 593-596. <https://doi.org/10.4141/A01-002>
- 11) Crosby, J., Huggins, T., Little, S., McDowell, A., Morton, J., Robins, C., Sloane, J. y Stockdale, R. (2013). *Cow body condition scoring handbook*. City Road, Southbank: Dairy Australia



- 12) Cupps, P. T. (1991). *Reproduction in Domestic Animals*. Elsevier Science.
<https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=1179750>
- 13) Day, M. L., Imakawa, K., Garcia-Winder, M., Zalesky, D. D., Schanbacher, B. D., Kittok, R. J. y Kinder, J. E. (1984). Endocrine Mechanisms of Puberty in Heifers: Estradiol Negative Feedback Regulation of Luteinizing Hormone Secretion. *Biology of Reproduction*, 31(2), 332-341. <https://doi.org/10.1095/biolreprod31.2.332>
- 14) Day, M. L., Imakawa, K., Wolfe, P. L., Kittok, R. J. y Kinder, J. E. (1987). Endocrine Mechanisms of Puberty in Heifers. Role of Hypothalamo-Pituitary Estradiol Receptors in the Negative Feedback of Estradiol on Luteinizing Hormone Secretion. *Biology of Reproduction*, 37(5), 1054-1065. <https://doi.org/10.1095/biolreprod37.5.1054>
- 15) DesCôteaux, L., Gnemmi, G. y Colloton, J. D. (2010). *Practical atlas of ruminant and camelid reproductive ultrasonography*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell.
- 16) Díez-Bru, N. (1992). Principios básicos de la ecografía. *Clínica Veterinaria de Pequeños Animales*, 3(12), 138-147.
- 17) Domecq, J. J., Skidmore, A. L., Lloyd, J. W. y Kaneene, J. B. (1995). Validation of Body Condition Scores with Ultrasound Measurements of Subcutaneous Fat of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 78(10), 2308-2313. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76857-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76857-6)
- 18) Edmonson, A. J., Lean, I. J., Weaver, L. D., Farver, T. y Webster, G. (1989). A Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 72(1), 68-78. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79081-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0)
- 19) Elanco Rumensin® (2004). *Body Condition Scoring for Dairy Replacement Heifers*. Greenfield, Indiana: Elanco Animal Health.
- 20) Estill, C. T. (2015). Initiation of Puberty in Heifers. En Hopper, R. M. (Ed.). *Bovine reproduction*. Ames, Iowa: John Wiley & Sons Inc.
- 21) Ettema, J. F. y Santos, J. E. P. (2004). Impact of Age at Calving on Lactation, Reproduction, Health, and Income in First-Parity Holsteins on Commercial Farms. *Journal of Dairy Science*, 87(8), 2730-2742. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73400-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73400-1)
- 22) Ferguson, J. D., Galligan, D. T. y Thomsen, N. (1994). Principal Descriptors of Body Condition Score in Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, 77(9), 2695-2703. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77212-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77212-X)
- 23) Fernández Sánchez, M. (2013). *Reproducción y control ecográfico en vacuno: El ciclo estral desde una nueva perspectiva*. Zaragoza: Servet editorial - Grupo Asís Biomedica S.L.
- 24) Fernández Sánchez, M. (2008). Ovogénesis, Foliculoénesis y Dinámica folicular. En Fernández Sánchez, M.(Ed.) *El ciclo estral de la vaca*. (pp. 12-17) Zaragoza: Servet editorial -



Grupo Asís Biomedia S.L.

- 25) Gabler, M. T., Tozer, P. R. y Heinrichs, A. J. (2000). Development of a Cost Analysis Spreadsheet for Calculating the Costs to Raise a Replacement Dairy Heifer. *Journal of Dairy Science*, 83(5), 1104-1109. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74975-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74975-7)
- 26) García Nogales, A. (2011). *Elementos de bioestadística* (3ªed.). Cáceres: Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones.
- 27) Ginther, O. J. (1995a). *Ultrasonic imaging and animal reproduction: Fundamentals* (Vol. 1). Cross Plains, Wisconsin: Equiservices Publishing.
- 28) Ginther, O. J. (1995b). *Ultrasonic imaging and animal reproduction: Cattle* (Vol. 3). Cross Plains, Wisconsin: Equiservices Publishing.
- 29) Ginther, O. J., Beg, M. A., Bergfelt, D. R., Donadeu, F. X. y Kot, K. (2001). Follicle Selection in Monovular Species. *Biology of Reproduction*, 65(3), 638-647. <https://doi.org/10.1095/biolreprod65.3.638>
- 30) Giraldo E., C. (2003). Principios básicos de ultrasonografía veterinaria. *Revista MVZ Córdoba*. <https://doi.org/10.21897/rmvz.508>
- 31) Gnemmi, G., Echegary, A., Escartin, N., Muñoz, I. y Cristina, M. (2020). Il ciclo estrale e la dinamica follicolare nel bovino da carne. Milano: *Summa - Animali da reddito*, 6, 17-21.
- 32) Gold Standards Overview (2019). DCHA - Dairy Calf and Heifer Association [Página web]. Recuperado 11 de abril de 2021, de <https://calfandheifer.org/gold-standards/>
- 33) Halachmi, I., Polak, P., Roberts, D. J. y Klopčic, M. (2008). Cow Body Shape and Automation of Condition Scoring. *Journal of Dairy Science*, 91(11), 4444-4451. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0785>
- 34) Hall, J. B., Staigmiller, R. B., Bellows, R. A., Short, R. E., Moseley, W. M. y Bellows, S. E. (1995). Body composition and metabolic profiles associated with puberty in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 73(11), 3409-3420. <https://doi.org/10.2527/1995.73113409x>
- 35) Han, L., Heinrichs, A. J., De Vries, A. y Dechow, C. D. (2021). Relationship of body weight at first calving with milk yield and herd life. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 397-404. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19214>
- 36) Handcock, R. C., Lopez-Villalobos, N., McNaughton, L. R., Back, P. J., Edwards, G. R. y Hickson, R. E. (2020). Body weight of dairy heifers is positively associated with reproduction and stayability. *Journal of Dairy Science*, 103(5), 4466-4474. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17545>
- 37) Hansel, W. y Convey, E. M. (1983). Physiology of the estrous cycle. *Journal of Animal Science*, 57 Suppl 2, 404-424.
- 38) Hassen, A., Wilson, D. E., Amin, V. R. y Rouse, G. H. (1999). Repeatability of ultrasound-



- predicted percentage of intramuscular fat in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 77(6), 1335. <https://doi.org/10.2527/1999.7761335x>
- 39) Heinrichs, J., Jones, C. M. y Ishler, V. A. (2016). *Body Condition Scoring as a Tool for Dairy Herd Management*. Penn State Extension. <https://extension.psu.edu/body-condition-scoring-as-a-tool-for-dairy-herd-management>
- 40) Heinrichs, A. J., Zanton, G. I., Lascano, G. J. y Jones, C. M. (2017). A 100-Year Review: A century of dairy heifer research. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10173-10188. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12998>
- 41) Heryani, L. G. S. S., Laksmi, D. N. D. I., Lestari, D. L. P., Laksana, I. G. N. B. T., Sudimartini, L. M. y Gunawan, W. N. F. (2019). Relationship Between the Appearance of First Estrus (Puberty) with Leptin and Body Conditions Score (Bcs) Levels in Bali Cattle. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 7(10). <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2019/7.10.904.909>
- 42) Hussein, H., Westphal, A. y Staufenbiel, R. (2013). Relationship between body condition score and ultrasound measurement of backfat thickness in multiparous Holstein dairy cows at different production phases. *Australian Veterinary Journal*, 91(5), 185-189. <https://doi.org/10.1111/avj.12033>
- 43) Hutchison, J. L., VanRaden, P. M., Null, D. J., Cole, J. B. y Bickhart, D. M. (2017). Genomic evaluation of age at first calving. *Journal of Dairy Science*, 100(8), 6853-6861. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12060>
- 44) Jaiswal, R. S., Singh, J., Marshall, L. y Adams, G. P. (2009). Repeatability of 2-wave and 3-wave patterns of ovarian follicular development during the bovine estrous cycle. *Theriogenology*, 72(1), 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.02.014>
- 45) Johns, J. V., Brackelsberg, P. O. y Marchello, M. J. (1993). Use of real-time ultrasound to determine carcass lean and fat in beef steers from various live and carcass measurements. Ames: Iowa State Univ. Beef and Sheep Res. Rep. A.S.
- 46) Johnston, D. J., Barwick, S. A., Corbet, N. J., Fordyce, G., Holroyd, R. G., Williams, P. J. y Burrow, H. M. (2009). Genetics of heifer puberty in two tropical beef genotypes in northern Australia and associations with heifer- and steer-production traits. *Animal Production Science*, 49(6), 399. <https://doi.org/10.1071/EA08276>
- 47) Jones, E. J., Armstrong, J. D. y Harvey, R. W. (1991). Changes in metabolites, metabolic hormones, and luteinizing hormone before puberty in Angus, Braford, Charolais, and Simmental heifers. *Journal of Animal Science*, 69(4), 1607. <https://doi.org/10.2527/1991.6941607x>
- 48) Joshi, N. P. y Herdt, T. H. (2011). Clinical Use of Ultrasound for Subcutaneous Fat Thickness



- Measurements in Dairy Cattle. En Anderson, D. E., Rings, M., & Abrahamsen, E. J. (Eds.) *Current veterinary therapy. Food animal practice*. (5 ed., pp. 150-152) St. Louis, Missouri: Saunders Elsevier.
- 49) Kellogg, W. (2010). *Body Condition Scoring with Dairy Cattle*. Fayetteville: University of Arkansas Division of Agriculture
- 50) KetoLution (2021). BCS - Body Condition Score. [Página web] Recuperado 9 abril de 2021, de <https://www.ketolution.com/en/bcs-body-condition-scoring>
- 51) Kinder, J. E., Day, M. L. y Kittok, R. J. (1987). Endocrine regulation of puberty in cows and ewes. *Journal of Reproduction and Fertility. Supplement*, 34, 167-186.
- 52) Klawuhn, D. (1992). *Vergleich der Rückenfettdicke mit dem über die Gesamtkörperwasserbestimmung ermittelten Körperfettgehalt bei Rindern* (Tesis doctoral inédita). Vet. Diss., Humboldt-Univ, Berlin.
- 53) Klopčič, M., Hamoen, A. y Bewley, J. (2011). *Body condition scoring of dairy cows*. Biotechnical Faculty, Department of Animal Science.
- 54) Lopez, F. J. (2006). Relación entre condición corporal y eficiencia reproductiva en vacas holstein. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 4(1), 77-86.
- 55) Macdonald, K. A., McNaughton, L. R., Verkerk, G. A., Penno, J. W., Burton, L. J., Berry, D. P., Gore, P. J. S., Lancaster, J. A. S. y Holmes, C. W. (2007). A Comparison of Three Strains of Holstein-Friesian Cows Grazed on Pasture: Growth, Development, and Puberty. *Journal of Dairy Science*, 90(8), 3993-4003. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0119>
- 56) Macdonald, K. y Roche, J. (2004). *Condition scoring made easy*. Dexcel.
- 57) Malhi, P. S., Adams, G. P. y Singh, J. (2005). Bovine Model for the Study of Reproductive Aging in Women: Follicular, Luteal, and Endocrine Characteristics1. *Biology of Reproduction*, 73(1), 45-53. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.104.038745>
- 58) Mann, G. E. (2009). Corpus luteum size and plasma progesterone concentration in cows. *Animal Reproduction Science*, 115(1-4), 296-299. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2008.11.006>
- 59) McLeod, B. J., Peters, A. R., Haresign, W. y Lamming, G. E. (1985). Plasma LH and FSH responses and ovarian activity in prepubertal heifers treated with repeated injections of low doses of GnRH for 72 h. *Reproduction*, 74(2), 589-596. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0740589>
- 60) Mohd Nor, N., Steeneveld, W., Van Werven, T., Mourits, M. C. M. y Hogeveen, H. (2013). First-calving age and first-lactation milk production on Dutch dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 96(2), 981-992. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5741>
- 61) Moran, C., Quirke, J. F. y Roche, J. F. (1989). Puberty in heifers: A Review. *Animal*



- Reproduction Science*, 18(1-3), 167-182. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(89\)90019-5](https://doi.org/10.1016/0378-4320(89)90019-5)
- 62) National Research Council (U.S.) (Ed.). (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (7 ed). Washington, DC: National Academy Press.
- 63) Norris, D. O. y Lopez, K. H. (2011). The Endocrinology of the Mammalian Ovary. En Norris, D. O., y Lopez, K. H. (Eds.). *Mammals*. (pp. 59-72) London: Elsevier Science & Technology.
- 64) Paul, A., Mondal, S., Kumar, S. y Kumari, T. (2020). Body Condition Scoring in Dairy Cows—A Conceptual and Systematic Review. *Indian Journal of Animal Research*, of. <https://doi.org/10.18805/ijar.B-3859>
- 65) McArt, J. A. A., Divers, T. J. y Peek, S. F. (2018). Metabolic Diseases. En Peek, S. F., y Divers, T. J. (Eds.). *Rebhun's diseases of dairy cattle* (3^o ed., pp. 713-736). St. Louis, Missouri: Elsevier.
- 66) Raschka, C., Ruda, L., Wenning, P., von Stemm, C. I., Pfarrer, C., Huber, K., Meyer, U., Dänicke, S. y Rehage, J. (2016). In vivo determination of subcutaneous and abdominal adipose tissue depots in German Holstein dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 94(7), 2821-2834. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0103>
- 67) Realini, C. E., Williams, R. E., Pringle, T. D. y Bertrand, J. K. (2001). Gluteus medius and rump fat depths as additional live animal ultrasound measurements for predicting retail product and trimmable fat in beef carcasses. *Journal of Animal Science*, 79(6), 1378. <https://doi.org/10.2527/2001.7961378x>
- 68) Ribadu, Y. A. y Nakao, T. (1999). Bovine Reproductive Ultrasonography: A Review. *Journal of Reproduction and Development*, 45(1), 13-28. <https://doi.org/10.1262/jrd.45.13>
- 69) Robinson, T. y Shelton, J. (1977). Reproduction in cattle. En: Cole, H. H. y Cupps, P. T. (Eds.) *Reproduction in Domestic Animals*, (3 ed., pp 433-454) New York: Academic Press.
- 70) Roche, J. R., Dillon, P. G., Stockdale, C. R., Baumgard, L. H. y VanBaale, M. J. (2004). Relationships Among International Body Condition Scoring Systems. *Journal of Dairy Science*, 87(9), 3076-3079. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73441-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73441-4)
- 71) Roche, J. R., Friggens, N. C., Kay, J. K., Fisher, M. W., Stafford, K. J. y Berry, D. P. (2009). Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*, 92(12), 5769-5801. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2431>
- 72) Sali, G., Bognato, A., Barberio, A., Bertoni, G., Brizzi, A., Calamari, L., Canavesi, F., Fantini, A., Frigo, E., Gnemmi, G., Guarneri, P., Samoré, A. y Vincenzoni, G. (2013). *Gestione clinica della riproduzione bovina* (1 ed.). Milano: Le Point Vétérinaire Italie srl.
- 73) Schams, D., Schallenberger, E., Gombe, S. y Karg, H. (1981). Endocrine patterns associated with puberty in male and female cattle. *Journal of Reproduction and Fertility. Supplement*,



- 30, 103-110.
- 74) Schröder, U. J. y Staufenbiel, R. (2006). Invited Review: Methods to Determine Body Fat Reserves in the Dairy Cow with Special Regard to Ultrasonographic Measurement of Backfat Thickness. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 1-14. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72064-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72064-1)
- 75) Seidel, G. E., Larson, L. L. y Foote, R. H. (1971). Effects of Age and Gonadotropin Treatment on Superovulation in the Calf. *Journal of Animal Science*, 33(3), 617-622. <https://doi.org/10.2527/jas1971.333617x>
- 76) Staufenbiel, R. (1992). Energie- und Fettstoffwechsel des Rindes. Untersuchungskonzept und Messung der Rückenfettdicke. *Mh. Vet. Med.* 47, 467-474.
- 77) Toshniwal, J. K., Dechow, C. D., Cassell, B. G., Appuhamy, J. A. D. R. N. y Varga, G. A. (2008). Heritability of Electronically Recorded Daily Body Weight and Correlations with Yield, Dry Matter Intake, and Body Condition Score. *Journal of Dairy Science*, 91(8), 3201-3210. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0627>
- 78) Tozer, P. R. y Heinrichs, A. J. (2001). What Affects the Costs of Raising Replacement Dairy Heifers: A Multiple-Component Analysis1. *Journal of Dairy Science*, 84(8), 1836-1844. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74623-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74623-1)
- 79) Vacek, M., Krpálková, L., Syrůček, J., Štípková, M. y Janecká, M. (2016). Relationships between growth and body condition development during the rearing period and performance in the first three lactations in Holstein cows. *Czech Journal of Animal Science*, 60(9), 417-425. <https://doi.org/10.17221/8460-CJAS>
- 80) Vernon, R. G. y Houseknecht, K. L. (2000). Adipose Tissue: Beyond an Energy Reserve. En Cronjé, P. B (Ed.), *Ruminant physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction*. CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851994635.0000>
- 81) Villaseñor, C. P., Palacios, M. M. y González, A. B. (2012). Principios físicos básicos del ultrasonido. *Investigación En Discapacidad*, 1(1), 25-34.
- 82) Wildman, E. E., Jones, G. M., Wagner, P. E., Boman, R. L., Troutt, H. F. y Lesch, T. N. (1982). A Dairy Cow Body Condition Scoring System and Its Relationship to Selected Production Characteristics. *Journal of Dairy Science*, 65(3), 495-501. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82223-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82223-6)
- 83) Williams, G. L., Amstalden, M., Garcia, M. R., Stanko, R. L., Nizielski, S. E., Morrison, C. D. y Keisler, D. H. (2002). Leptin and its role in the central regulation of reproduction in cattle. *Domestic Animal Endocrinology*, 23(1-2), 339-349. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(02\)00169-8](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(02)00169-8)
- 84) Williams, R. E., Bertrand, J. K., Williams, S. E. y Benyshek, L. L. (1997). Biceps femoris and



rump fat as additional ultrasound measurements for predicting retail product and trimmable fat in beef carcasses. *Journal of Animal Science*, 75(1), 7.
<https://doi.org/10.2527/1997.7517>

